

ECO MUEBLES

Durante la producción de muebles de madera, se genera una gran cantidad de residuos sólidos, los cuales son considerados un contaminante ambiental que genera aserrín, astillas, polvillo y virutas; de allí la importancia del aprovechamiento de estos, mediante la implementación de prácticas de economía circular en la industria de muebles, aplicando estrategias innovadoras de reutilización de los residuos generados en esta actividad comercial.

Desde este marco de ideas, el propósito de este libro es proponer una estrategia para el uso de estos residuos, basada en su reintegración al proceso de producción de una línea de muebles ecológicos para el hogar, es decir, a través de una economía circular, generando nuevas oportunidades en la industria del mueble de madera, especialmente a las pequeñas y medianas empresas.

EDICIONES
**UNIVERSIDAD
SIMÓN BOLÍVAR**
BARRANQUILLA Y CÚCUTA - COLOMBIA
VIGILADA MINEDUCACIÓN



Escanee el código QR para conocer
más títulos publicados por Ediciones
Universidad Simón Bolívar



ISBN 978-628-7533-43-1



9 786287 533431

ECOMUEBLES

ECO MUEBLES

Una estrategia para el
aprovechamiento de
residuos sólidos



MINISTERIO DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



Universidad
del Atlántico



**UNIVERSIDAD
SIMÓN BOLÍVAR**
BARRANQUILLA Y CÚCUTA - COLOMBIA | VIGILADA MINEDUCACIÓN



50
Años
1962-2012

ECO **MUEBLES**

Una estrategia para el aprovechamiento
de residuos sólidos

ECO MUEBLES

UNA ESTRATEGIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

© Ana Palacio-Flórez · Adriana Cáceres-Martelo · Enrique Melamed-Varela · Fanny Fontalvo-Torres ·
Gilberto Carrillo-Alvarado · Hernán Saumet-España · Hilda Estrada-López · Ray Ochoa-Hernández
· Ximena Vargas-Ramírez

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

Facultad de Administración y Negocios

Grupo de Investigación Gestión Organizacional

Líder: Ana Blanco Ariza

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

Facultad de Ciencias Económicas

Grupo de Investigación Economía de la Educación

Líder: Elcira Solano Benavides

Proceso de arbitraje doble ciego

Recepción: septiembre 2022

Evaluación de propuesta de obra: octubre 2022

Evaluación de contenidos: noviembre 2022

Correcciones de autor: noviembre 2022

Aprobación: diciembre 2022



MINISTERIO DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



ECO MUEBLES

Una estrategia para el aprovechamiento
de residuos sólidos

Ana Palacio-Flórez · Adriana Cáceres-Martelo
Enrique Melamed-Varela · Fanny Fontalvo-Torres ·
Gilberto Carrillo-Alvarado · Hernán Saumet-España
Hilda Estrada-López · Ray Ochoa-Hernández
Ximena Vargas-Ramírez



BARRANQUILLA Y CÚCUTA - COLOMBIA
VIGILADA MINEDUCACIÓN



Eco muebles una estrategia para el aprovechamiento de residuos sólidos / Ana Palacio-Flórez [y otros 8] -- Barranquilla: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 202?.

113 páginas; figuras y tablas a color
ISBN: 978-628-7533-43-1 (Versión electrónica)

1. Aprovechamiento de residuos 2. Tratamiento de residuos sólidos 3. Residuos sólidos 4. Desarrollo económico 5. Desarrollo sostenible 6. I. Palacio-Flórez, Ana II. Cáceres-Martelo, Adriana III. Melamed-Varela, Enrique IV. Fontalvo-Torres, Fanny V. Carrillo-Alvarado, Gilberto VI. Saumet-España, Hernán VII. Estrada-López, Hilda VIII. Ochoa-Hernández, Ray IX. Vargas-Ramírez, Ximena X. Universidad Simón Bolívar. Facultad de Administración y Negocios. Grupo de Investigación Gestión Organizacional XI. Universidad del Atlántico. Facultad de Ciencias Económicas. Grupo de Investigación Economía de la Educación XII. Universidad Don Bosco XII. Título
363.7285 E192 202? Sistema de Clasificación Decimal Dewey 22ª ed.

Impreso en Barranquilla, Colombia. Depósito legal según el Decreto 460 de 1995. El Fondo Editorial Ediciones Universidad Simón Bolívar se adhiere a la filosofía del acceso abierto y permite libremente la consulta, descarga, reproducción o enlace para uso de sus contenidos, bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



©Ediciones Universidad Simón Bolívar

Carrera 54 No. 59-102

<http://publicaciones.unisimonbolivar.edu.co/edicionesUSB/>

dptopublicaciones@unisimonbolivar.edu.co

Barranquilla - Cúcuta

Universidad del Atlántico

Facultad de Ciencias Económicas

Barranquilla, Colombia

Producción Editorial

Editorial Mejoras

Calle 58 No. 70-30

info@editorialmejoras.co

www.editorialmejoras.co

Marzo de 2023

Barranquilla

Made in Colombia

CONTENIDO

Prólogo.....	11
Introducción	12
CAPÍTULO I	
<hr/>	
SECTOR MUEBLES DE MADERA. AVANZANDO HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR	15
1. Introducción	16
2. Fundamentos Teóricos	16
3. Metodología	19
4. Resultados y Discusiones	20
5. Conclusiones	33
6. Referencias Bibliográficas.....	33
CAPÍTULO II	
<hr/>	
RESIDUOS SÓLIDOS. UNA CARACTERIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL MUEBLE	39
1. Introducción	40
2. Fundamentos Teóricos	41
3. Metodología	48
4. Resultados y Discusiones	51
5. Conclusiones	58
6. Referencias Bibliográficas.....	59
CAPÍTULO III	
<hr/>	
UNA MIRADA A LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	65
1. Introducción	66
2. Fundamentos Teóricos	68
3. Metodología	75
4. Resultados y Discusiones	78
5. Conclusiones	82
6. Referencias Bibliográficas.....	84

CAPÍTULO IV

ECO MUEBLES CON INTEGRACIÓN DE PANELES DE MADERA ...	89
1. Introducción	90
2. Fundamentos Teóricos	92
3. Metodología	97
4. Resultados y Discusiones	98
5. Conclusiones	110
6. Referencias Bibliográficas	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco normativo de referencia en el desarrollo de la EC	23
Tabla 2. Reglamentación sobre el uso del recurso forestal en Colombia ...	23
Tabla 3. Matriz PEST de las principales variables que impactan la aplicación de la EC en el sector del mueble de madera en Colombia	28
Tabla 4. Factor, variables y estrategias político-legal relacionado a la EC en el sector de muebles de madera nacional.....	29
Tabla 5. Definición de los residuos sólidos.....	45
Tabla 6. Características físicas de los residuos sólidos	52
Tabla 7. Mallas del análisis granulométrico	53
Tabla 8. Porcentaje de residuos por tipo de madera y tipo de residuos....	55
Tabla 9. Residuos sólidos de madera producidos por día.....	56
Tabla 10. Número de máquinas por cada uno de los modelos.....	56
Tabla 11. Total de residuos sólidos generados por máquinas (en kilogramos)	57
Tabla 12. Valores máximos y mínimos de las densidades de los residuos	59
Tabla 13. Fuentes y tipos de residuos sólidos de madera.....	68
Tabla 14. Definición de los residuos generados en la fábrica de muebles de Barranquilla	69
Tabla 15. Tipos de tableros a partir de residuos de madera	73
Tabla 16. Matriz de términos clave para materiales compuestos.....	76
Tabla 17. Ecuaciones de Búsqueda	77
Tabla 18. Códigos de clasificación internacional de patentes - IPC	79
Tabla 19. Diagrama de proceso DAP.....	92
Tabla 20. Ventajas y desventajas de las mezclas realizadas	98
Tabla 21. Condiciones bajo las que se desarrolló la probeta de material compuesto.....	101
Tabla 22. Condiciones iniciales en el ensayo de probetas a base de madera de pino y resina acrílica	103
Tabla 23. Resultados obtenidos en el ensayo de la resistencia a la tracción.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de elaboración de pulpa y papel a partir de residuos de madera.....	71
Figura 2. Residuos de madera para la producción de tableros.....	72
Figura 3. Países líderes en solicitud de patentes.....	81
Figura 4. Banquillo y lámpara de Kulla Design hecho a base de aserrín y bolsas plásticas.....	94
Figura 5. Silla escultural de resina y de aserrín.....	94
Figura 6. Asientos hechos de Bio Resina.....	95
Figura 7. Preferencias de muebles para el hogar de los colombianos y salvadoreños.....	97
Figura 8. Prensado en la prensadora hidráulica Carver.....	102
Figura 9. Ensayo de resistencia a la tracción en máquina universal Hensgrand.....	102
Figura 10. Plano de la lámpara elaborada con material compuesto.....	104
Figura 11. Render de la base para lámpara elaborada con material compuesto.....	105
Figura 12. Plano de la mesa auxiliar Sídney con integración de material compuesto.....	105
Figura 13. Render de la base para mesa auxiliar elaborada con material compuesto.....	106
Figura 14. Plano de la Butaca integrada con material compuesto.....	107
Figura 15. Render de la Butaca “puff”.....	107
Figura 16. Render que ilustra las partes de aglomerado integradas al “puff”.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comportamiento de la producción bruta de muebles de madera (2015-2019)	31
Gráfico 2. Comportamiento de las áreas forestales y producción de madera aserrada en Colombia (1990-2020)	32
Gráfico 3. Porcentaje de residuos con relación al tipo de madera.....	54
Gráfico 4. Cantidades según tipo de residuo	54
Gráfico 5. Comportamiento anual en la publicación y presentación de solicitudes	80
Gráfico 6. Porcentaje de participación por continente en solicitud de patentes.....	81

PRÓLOGO

Hernan Saumett España¹

Este libro que la Red Ritmma me ha solicitado le hiciera el prólogo, es una selección de resultados obtenidos por investigadores que participan en ella. Se trata de grupos interdisciplinarios interesados en la búsqueda de estrategias que permitan el aprovechamiento de los residuos sólidos de la madera.

Lo más interesante de estos capítulos son los retos a la educación superior, cuando muestran la aplicación de los conocimientos en casos reales. Estos son cada vez más desafiantes. La sociedad busca respuestas rápidas a dificultades, tanto en metodología, recursos, medios, como también en estrategias que puedan dar soluciones eficaces a largo plazo. Son temas de la internacionalización de problemas en los países latinoamericanos.

Destacable la participación de los jóvenes investigadores, uno formado en nuestra Alma Mater y otra en una universidad privada. quienes al lado de profesores reconocidos participan en la publicación. Situación que nos produce una gran satisfacción, por cuanto a pesar de las dificultades presupuestales que afrontamos las universidades públicas, es posible mostrar resultados en el campo de la formación de nuevos investigadores.

Además, somos de la opinión de que la investigación, el desarrollo y la innovación, no son productos espontáneos. Debemos lograr que estos esfuerzos y el manejo de los recursos puedan ser transferidos a la sociedad, en forma de conocimiento, entregándoles a profesores productos que como este llegan a las aulas de clase.

Quiero rescatar el esfuerzo que significa hacer una publicación con el cuidado y la preparación de un libro que será puesto a consideración de muchos intelectuales de los respectivos países, sobre todo rescatando las necesidades que existen de investigación, desarrollo e innovación como piedras angulares de la sociedad. La tecnología muestra las posibilidades y conocimientos, el caudal casi inagotable de los procesos, acceso, conectividad y transferencia, que pueden superar fronteras y geografías, al igual que brechas económicas.

Por todo ello presentamos a los lectores un contenido estructurado en el que se pone de manifiesto la investigación interdisciplinaria e internacional de este libro en cuatro grandes capítulos que les dejarán una visión sobre temas muy conectados con la producción del+ mueble y el aprovechamiento de los residuos sólidos de la madera que tienen un impacto negativo en el medio ambiente.

¹ Investigador emérito, adjunto al grupo de investigación economía de la educación de la universidad del atlantico

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos de madera, se producen en grandes cantidades en el proceso de fabricación de muebles, tanto así que la madera siendo una materia prima natural, se considera un contaminante ambiental en el momento en que se convierte en aserrín, viruta, y trozos de madera. Por ello, el objetivo de este libro es dar a conocer una estrategia para el aprovechamiento de estos residuos, a partir de su reintegración al proceso productivo de elaboración de eco muebles para el hogar, es decir, a través de prácticas de economía circular, un concepto del cual se habla mucho en la actualidad pero que muy poco se emplea en las empresas de la industria muebles de madera, especialmente en las pymes.

El libro que se presenta a continuación, hace parte de los resultados obtenidos a partir del proyecto “Aprovechamiento de residuos sólidos y reducción de material particulado en fábricas de muebles de madera mediante el desarrollo de soluciones tecnológicas enfocadas a la optimización en el consumo de materia prima y reducción de su impacto ambiental en los entornos laborales”, financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), coordinado por la Universidad del Atlántico, realizado por medio de la convocatoria de Proyectos Conectando Conocimiento 2019 No. 852-2019 en alianza colaborativa entre universidades, empresas y otras entidades, y celebrado mediante contrato 80740-493-202 siendo adscrito al Programa Nacional De Ciencia, Tecnología e Innovación en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat.

“Eco muebles. Una estrategia para el aprovechamiento de residuos sólidos” está conformado por cuatro capítulos. En el primero, denominado “Sector muebles de madera. Avanzando hacia una economía circular”, se abordan los conceptos de economía circular (EC), y análisis PEST. Asimismo, se estudia la viabilidad de aplicación de la EC en el sector muebles de madera en Colombia, y se describen los resultados de los factores: político-legal, económico, social y tecnológico, encontrados en este sector, donde todos concluyen que es apremiante avanzar hacia la economía circular.

El segundo capítulo “Residuos sólidos. Una caracterización en la industria del mueble” como su nombre lo indica, define los residuos sólidos y su caracterización, teniendo en cuenta su tamaño y sus propiedades, partiendo del análisis granulométrico, densidad aparente, y la humedad; clasificándolos en grupos de acuerdo a los antecedentes y al estudio realizado en una empresa del clúster de

muebles CILA, de la ciudad de Barranquilla, mencionada en el libro como una “fábrica de muebles” con el fin de guardar su identidad.

Por su parte, el tercer capítulo “Una mirada a las alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de residuos sólidos” presenta una revisión de los avances desarrollados en el sector muebles de madera en diferentes países, los cuales están relacionados con la optimización de los residuos sólidos de madera, y partiendo de la información recabada en patentes y bases de datos especializadas, se destacan alternativas de elaboración de paneles fabricados a partir de material compuesto.

Finalmente, el cuarto capítulo denominado “Eco muebles con integración de paneles de madera” toma como base las investigaciones realizadas que dieron lugar a la redacción de los capítulos anteriores para desarrollar eco muebles, tres prototipos que integran piezas fabricadas a partir de material compuesto, partiendo desde el proceso de elaboración de paneles de residuos que inicia con la escogencia de la mezcla idónea para su fabricación, tanto de residuos como de aglutinante; continúa con la experimentación, sus respectivas pruebas, y culmina con el diseño de tres prototipos que integran partes elaboradas a partir del material compuesto desarrollado, que dan lugar a la línea de eco muebles.

Se espera que la información condensada en este libro, producto de la investigación desarrollada en el marco del proyecto antes mencionado, sirva como referente para investigaciones futuras relacionadas con el aprovechamiento de los residuos de madera y con la implementación de prácticas de economía circular en la industria de muebles, mediante las estrategias de reutilización de los residuos resultantes de su actividad comercial.

CAPÍTULO I

SECTOR MUEBLES DE MADERA. AVANZANDO HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR

Ray Lorenzo Ochoa-Hernández¹

RESUMEN

La investigación se centra en identificar las variables de los factores del macroentorno que impulsan el cambio hacia un modelo de economía circular (EC) en el sector de muebles de madera en Colombia. Partiendo de un análisis PEST, se llevó a cabo una revisión bibliográfica evaluando la relevancia y aporte sobre el tema, de tal forma, que los hallazgos permitan vislumbrar oportunidades en la implementación de la EC para este sector y generar aportes sobre la perspectiva de un cambio de modelo. Como resultados sobresalen el desarrollo del marco regulatorio y político hacia la EC y las nuevas tecnologías de la industria 4.0, como dinamizadores en la posible transición. En consecuencia, la regulación en la gestión de los residuos, el descenso de la cadena forestal y el desarrollo de productos eco-ambientales presionan un cambio de modelo que se adapte a una producción sostenible, comercio justo y consumo responsable.

Palabras clave: economía circular, muebles de madera, PEST, producción sostenible, sector agroforestal.

ABSTRACT

The research focuses on identifying the variables of the macro-environmental factors that drive the change towards a circular economy (CE) model in the wood furniture sector in Colombia. Based on a PEST analysis, a literature review was carried out to evaluate the relevance and contribution on the subject, so that the findings allow to highlight opportunities in the implementation of the CE for this sector and to generate contributions on the perspective of a change of model. As results, the development of the regulatory and political framework towards CE and the new technologies of Industry 4.0 stands out as dynamizes in the possible transition. Consequently, the regulation of waste management, the decline of the forestry chain and the development of eco-environmental products push for a change of model that adapts to sustainable production, fair trade and responsible consumption.

Keywords: circular economy, wood furniture, PEST, sustainable production, agroforestry sector.

¹ Economista. Universidad del Atlántico. ORCID: 0000-0002-3289-8666. Correo electrónico: rlochoa@mail.uniatlantico.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El cambio de paradigma de modelo de producción en el sector manufacturero de muebles de madera en Colombia posee grandes implicaciones en términos económicos, sociales y ambientales, especialmente por el gran número de actividades y actores que intervienen de forma directa e indirecta en la industria del mueble. La cadena forestal madera y muebles comprende la producción de madera en bosques naturales o plantaciones forestales, las actividades de explotación de la madera (tala de árboles y extracción de madera en rollo), aserraderos y la fabricación de muebles (Navarro, 2011). Por lo tanto, la alta demanda de los consumidores en la industria del mueble trae impactos negativos no solo al medioambiente sino también a la sociedad, causado por desperdicios, materias primas o procesos de producción (Wicaksono y Ahmad, 2020).

En este aspecto, la implementación de un modelo de economía circular requiere un análisis amplio que permita obtener conclusiones que brinden a las empresas, agremiaciones y sector público, identificar cuáles son las variables existentes en los factores del macroentorno que estimulan el cambio hacia la implementación del modelo EC en el sector muebles de madera en Colombia; de tal forma, que los resultados orienten la toma de decisiones, propiciando desde lo político, económico, ambiental, tecnológico y legal esta transición sin demasiado traumatismo, dadas las implicaciones que tiene este sector para el medioambiente.

La producción de muebles de madera resulta tener un papel importante desde el punto de vista medioambiental por sus procesos y características del producto (Bravi *et al.*, 2019). En consecuencia, se resalta claramente la importancia de las prácticas circulares en las fábricas de muebles para reducir sus efectos en el entorno (Barbaritano *et al.*, 2019).

En este proceso es clave la identificación de las variables y estrategias que se encuentran relacionadas con cada uno de los factores del macroentorno para este sector, de tal manera que se puedan establecer repercusiones a nivel de sostenibilidad y sustentabilidad en el mediano y largo plazo.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Economía circular

La economía circular (EC) ofrece un marco de soluciones sistémicas para el desarrollo económico abordando los retos mundiales como el cambio climático,

la pérdida de biodiversidad, el incremento de la contaminación, al tiempo que revela grandes oportunidades de crecimiento (Albaladejo *et al.*, 2021).

La EC tiene como objetivo eliminar los desechos, aumentar la eficiencia de los recursos y lograr un mejor equilibrio entre la economía, el medioambiente y la sociedad (Kristense y Mosgaard, 2019), ofreciendo caminos hacia negocios más sostenibles a través de actividades que retienen el valor de productos que están en circulación por más tiempo, reduciendo la extracción de materias primas de la naturaleza y la acumulación de desechos (Ranta *et al.*, 2021) consolidando un modelo alternativo viable al actual modelo productivo lineal, pasando de fabricar, usar y tirar, a crear bucle de innovaciones.

Aunque no existe unificación en el concepto de la economía circular, la fundación Ellen MacArthur, ha permitido sentar la siguiente definición:

Sistemas de producción y consumo que promueve la eficiencia en el uso de los recursos, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas entre actores y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible (Ellen MacArthur Foundation, 2014).

El proceso de construcción teórica en el desarrollo y aplicación del principio de las R en la EC, ha extendido las implicaciones prácticas. Los imperativos R a veces también se denominan jerarquías o estrategias, se mencionan en la literatura como varias secuencias de R, que difieren en su nivel de detalle (Bezuijen & Hordegen, 2021). Al pasar de las 3 R (Reducir, Reutilizar y Reciclar) que está en la construcción inicial de la EC, se complementa con otros atributos como "Recuperar", "Rediseñar" y "Remanufacturar" que integra el concepto de las 6 R (Sihvonen y Ritola, 2015). Unificando las 10 R con Reducir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar, Rediseñar, Remanufacturar, Restaurar, Revalorizar, Repensar y Rechazar (Aranda *et al.*, 2020).

La economía circular se ve cada vez más como una solución fácil para abordar el desarrollo sostenible (Geissdoerfer *et al.*, 2018). En este contexto, la EC podría brindar una oportunidad para crear un nuevo valor en el mercado combinando la eficiencia de los recursos, el valor del consumidor y la rentabilidad con nuevas soluciones innovadoras (Bravi *et al.*, 2019). Sin embargo, existe una serie de variables en el entorno que tienen incidencia en la adaptación de este nuevo modelo en la industria (Kirchherr *et al.*, 2018). Las principales variables

que inciden en la aplicación de la EC son: cultural (información e interés de los clientes), regulatorias (leyes y regulaciones), mercado (rentabilidad de las actividades de tipo circular), tecnológico (falta de tecnologías para la implementación de la EC). Variables que son externas a las dinámicas de las empresas.

2.2. Análisis PEST

En el actual contexto, es importante destacar que la transición hacia una economía circular exige la adopción de innovaciones tecnológicas, organizativas y sociales imprescindibles para impulsar el cambio necesario en los modelos de producción y consumo (Carballada, 2020). Por lo tanto, la transición hacia una economía circular no es uniforme y varía en función de una serie de factores como el grado de industrialización, el nivel de desarrollo tecnológico, acceso al recurso humano cualificado y el acceso a la financiación (Albaladejo *et al.*, 2021). En tal sentido, herramientas como el análisis PEST (Político-legal, Económico, Social y Tecnológico) se convierten en un elemento definitivo en la planificación estratégica, para evaluar los principales factores externos que influyen en la competitividad de un mercado. La planificación estratégica permite hacer frente a la incertidumbre e identificar las cuestiones claves que influyen en el comportamiento futuro con el propósito de comprender el estado actual del sector y determinar los desafíos y oportunidades que se presenten (Itani *et al.*, 2014).

El modelo PEST analiza las influencias políticas, económicas, sociales, tecnológicas y legales sobre una industria que está considerando adoptar una nueva tecnología, enfoque o método (Kremer y Symmons, 2015). En este aspecto, la planificación estratégica al integrar el modelo PEST, juega un rol determinante en evaluar las condiciones del entorno en diferentes escenarios frente a la toma de cualquier decisión empresarial.

En lo concerniente al entorno político y legal de un país, se analiza a través de información que describe la estructura del marco legal, las políticas y regulaciones gubernamentales y el nivel de estabilidad política y de seguridad (Itani *et al.*, 2014). Por su parte, el entorno económico, tiene el impacto más obvio en la rentabilidad y el atractivo general de un mercado o industria, estudiando ciclos comerciales y de mercado, economía local, impuestos corporativos, estacionalidad de los ciclos económicos, tendencias económicas e inflación (Sammut-Bonnici y Galea, 2015).

Por otro lado, el entorno social analiza los efectos sociales y actitudes que dictan patrones, gustos y preferencias de los consumidores, y el tipo, forma y volumen

particular de la demanda de un producto o servicio (Sammut-Bonnici y Galea, 2015).

Por último, el entorno tecnológico, mide la agilidad a través de la cual una economía adopta las tecnologías existentes para mejorar la productividad de sus industrias, como catalizador permite que las empresas prosperen y abran nuevos mercados pioneros e innovadores (Itani *et al.*, 2014). De este modo, la forma actual del análisis PEST, proporciona un importante conocimiento fundamental en términos conceptuales para el análisis del entorno por medio de un enfoque cualitativo (Yüksel, 2012).

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño

La investigación de acuerdo a la naturaleza de los datos es de tipo cualitativa y documental, donde se emplea para la revisión de la literatura el diseño de una estrategia definida por ecuaciones de búsqueda integrada por palabras clave en español e inglés (economía circular, muebles de madera, sector agroforestal, análisis PEST y producción sostenible) conectadas con operadores booleanos (OR, AND) en un horizonte temporal del 2011 a 2021, con una búsqueda inicial en Google scholar, y en un segundo momento en bases de datos especializadas (Scopus, Scielo, Dialnet) y en revistas especializadas (International Wood Products Journal y Journal of Cleaner Production). Los aportes conceptuales obtenidos de la revisión de la literatura se organizaron de acuerdo con los factores relacionados al análisis PEST, y posteriormente se analizan en relación con los hallazgos de los entornos, las variables y estrategias en el país a través de un análisis comparativo.

3.2. Instrumento

Como técnica de investigación se utilizó el análisis documental realizando un filtro final de análisis de contenido de dos etapas (lectura de resumen y revisión crítica de texto) contenida en la guía de análisis de documentos, condensada y organizada en una ficha de contenido. Adicional, se integra el procesamiento de bases de datos de la Encuesta Anual Manufacturera EAM y la Encuesta Ambiental Industrial EAI del Departamento Nacional de Estadística (DANE), Bases de datos estadístico de la Organización para la Agricultura y Alimentos (FAOSTAT) según siglas en inglés, motor de búsqueda de Naciones Unidas (Undata) con el propósito de identificar algunas tendencias de las variables analizadas de forma gráfica en el factor económico dentro del análisis PEST.

3.3. Procedimiento

En primera medida, se definió el objetivo de la investigación, se continuó con la selección de la técnica e instrumento de investigación, elaboración de parámetro de búsqueda (palabras clave, operadores booleanos y operador de rango) consulta en bases bibliográficas, sistematización de la información, guía de análisis de documento, análisis de contenido, clasificación y selección, diligenciamiento de ficha de contenido, procesamiento de bases de datos y análisis PEST.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Factores político-legal

A medida que los responsables de la formulación de políticas en los diferentes estratos (supranacional, nacional y subnacional) intervengan en la legislación comercial, tributaria y ambiental, sus efectos pueden determinar el éxito o el fracaso de un negocio (Sammut-Bonnici & Galea, 2015). Por lo tanto, cobran relevancia los avances prácticos que ofrece la Economía Circular para abordar soluciones sobre el desarrollo sostenible desde un modelo productivo estructurado con base en la sustentabilidad y sostenibilidad, el cual capta la atención de países y organizaciones que dirigen su atención en la búsqueda de alternativas a la actual crisis ambiental. Es así como, Canadá (1990), Japón (2000), China (2009), la Unión Europea (2015), y en el caso de Latinoamérica, Argentina (2005), Brasil (2010) y Colombia (2019), incentivan la reconversión del sistema productivo, a través de políticas y financiamiento de iniciativas que permitan la implementación de EC en su área de influencia. En el mismo sentido, los compromisos de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), acuerdo de Escazú y acuerdo de París, reflejan el trabajo mancomunado en aras de buscar alternativas enmarcadas dentro de un consenso mundial y definiendo lineamientos a nivel internacional en esta materia.

En Colombia desde 1974, se vienen instaurando normativas relacionadas con la preservación del medioambiente, como el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medioambiente, que concatenado al marco legal y normativo vigente establecen los parámetros y lineamientos que soportan la EC en el país (Ver tabla 1).

Tabla 1. Marco normativo de referencia en el desarrollo de la EC

Año	Reglamentaciones y disposiciones
1991	Se elevan a rango constitucional los conceptos de desarrollo sostenible, patrimonio ecológico y calidad de vida.
1994	Colombia ratifica la convención marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático (Ley 164).
2000	Colombia ratifica el Protocolo de Kioto (Ley 164).
2001	Colombia presenta la primera Comunicación de cambio climático.
2010	Política Nacional de Producción y Consumo sostenible.
2011	Articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático (CONPES 3700).
2012	Plan Nacional de Cambio Climático.
2016	Política de Desarrollo Productivo (CONPES 3866).
	Sistema Nacional de Cambio Climático.
	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (CONPES 3874).
2018	Política de Crecimiento Verde (CONPES 3934).
2019	Estrategia Nacional de Economía Circular.
	Ley de Financiamiento para las inversiones en eficiencia energética.
2020	Primer Reporte de Economía Circular

Nota: La tabla contiene un compendio legal que enmarcan las acciones y estrategias relacionadas con la economía circular en Colombia

Fuente: *Elaboración propia (DANE, 2020) (DNP, 2016), (DNP, 2018), (DNP, 2011) (DNP, 1996)*

Estos avances han permitido que en los últimos años se formulen documentos de política pública, reglamentaciones y lineamientos dirigidos a la reconversión productiva, sostenibilidad ambiental, preservación del patrimonio natural y en brindar herramientas que desarrollen iniciativas de circularidad en algunos sectores.

En ese marco, los avances normativos a favor de la preservación ambiental y el desarrollo sostenible han originado la expedición de reglamentaciones que controlan el uso y el manejo del recurso forestal en el país (Ver tabla 2).

Tabla 2. Reglamentación sobre el uso del recurso forestal en Colombia

Año	Reglamentaciones y disposiciones
1974	Código Nacional de recursos naturales renovables y de protección al medioambiente.
1981	Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres.
1996	Política nacional de bosques.
2000	Plan nacional de desarrollo forestal.
2001	Resolución 454, reglamenta la certificación para las empresas que se dedican al manejo, transformación y/o comercialización de productos forestales en segundo grado.
2005	Ley General Forestal.

2014	Resolución 0192, por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana.
2018	CONPES de Crecimiento Verde.

Nota: La tabla contiene un compendio legal que enmarca el uso y manejo de la reserva forestal en Colombia.

Fuente: *Elaboración propia (Rueda et al., 2016). (Hinestroza y Mena, 2011). (ITP/CITEmadera, 2020). (Minambiente, 2001).*

En los últimos diez años, Colombia ha sido pionero a nivel de Latinoamérica en asumir disposiciones, leyes y mecanismos encaminados hacia el aprovechamiento sostenible de los bosques tropicales y el manejo ambiental de cultivos forestales (Hinestroza y Mena, 2011). Los bosques se protegen en áreas de reservas forestales y parques naturales para evitar su explotación, y en ciertas zonas se controla la sobreexplotación con regímenes de tasa de aprovechamiento (DNP,1996).

Así mismo, existen algunas iniciativas y reglamentaciones internacionales en el consumo responsable de los bosques, Lacey Act, CITIES (convenio Internacional de especímenes de flora y fauna en vías de extinción), FLEGT (Forest Law Enforcement, Governance and Trade) y GFTN (Red Global de Comercio Forestal) (ITP/CITEmadera, 2020).

4.2. Factor económico

La actual pandemia de COVID-19 ha revelado importantes deficiencias en la economía lineal: La vulnerabilidad de las cadenas de valor mundiales, el agotamiento de los recursos naturales y la exacerbación de las desigualdades sociales (Schröder *et al.*, 2020). La industria del mueble no es ajena a la crisis que atraviesa el actual modelo productivo, por lo tanto, la búsqueda de alternativas viables se convierte en un ejercicio imperante.

La producción en el sector manufacturero de muebles de madera, genera una alta dependencia por las reservas forestales para obtener sus materias primas (Wicaksono y Ahmad, 2020). Por lo tanto, la oferta forestal se ve afectada por la forma incontrolada en la que se hace la extracción de la madera en los bosques, al bajo rendimiento por hectárea y deficiencias en la calidad de la madera (Cámara de Comercio de Bogotá, 2004).

En consideración, el impacto ambiental generado por las actividades de la manufactura del mueble se encamina en una doble vía, primero, en la extracción de su materia prima, y como segundo elemento, la disposición de los residuos generados. El uso ineficiente de las materias primas y de los procesos produc-

tivos, provocan una importante cantidad de residuos que amenazan la sostenibilidad ambiental, esto principalmente en la forma que opera el modelo lineal de tomar-hacer-consumir-eliminar (Susanty *et al.*, 2020).

Uno de los principios de la EC, es el uso eficiente de los recursos, sin embargo, esto no significa que la EC sea más económica que un proceso lineal (Wicaksono y Ahmad, 2020). Asimismo, aunque la circularidad se ha convertido en un concepto importante relacionado con la sostenibilidad ambiental global, es importante dejar abierta la posibilidad que un producto más circular no sea en todo caso un producto de impacto ambiental bajo (Linder *et al.*, 2020). De manera que, la transición debe darse acoplando los tres pilares de sostenibilidad: viabilidad económica, protección ambiental y equidad social de manera diferente (Gesawahong *et al.*, 2021). Especialmente donde la cantidad de residuos producidos por el sector, se encuentra aproximadamente entre el 40 % y 50 % de las materias primas procesadas. En este escenario se suma el desafío de la contaminación ambiental, y la escasez mundial de recursos (Lieder y Rashid, 2016).

En el sector del mueble, aún no se ha definido un modelo de EC específico (Bezuijen y Hördegen, 2021). Aun así, varios autores proponen algunas opciones. (Wicaksono y Ahmad, 2020) mencionan que el desperdicio de madera en el sector de fabricación del mueble se puede reducir implementando la estrategia 6R. En este mismo marco, Bezuijen y Hördegen, 2021 afirman que la implementación de las 4R no es un proceso demasiado complejo para el inicio de la EC en la industria del mueble y abarca ciclos suficientes para observar el efecto de la tecnología.

Entrelazado a lo anterior, los productos deben diseñarse para ser reciclables y reutilizables, basados en cadenas de suministro ecológicas y fabricados con métodos limpios (Geng *et al.*, 2019) acompañado en etapas, donde se proponen niveles de ajustes como: la valoración de residuos, el cierre de ciclo de materiales, la extensión de la vida útil de productos y partes, y el cambio de productos por servicios (Gobierno de la República de Colombia, 2019).

Ahora bien, la mayoría de los fabricantes de muebles diseñan un producto y luego intentan averiguar cómo fabricarlo por un precio objetivo; para los grandes de la industria del mueble como IKEA, el precio es lo primero (Yiqiong, 2020). La meta a largo plazo de IKEA es provisionar el 100 % de sus productos madereros de productos reciclados, o de un sistema de certificación de fuentes preferidas como FSC (ITP/CITEmadera, 2020). En tal sentido, entender como empresas multinacionales del sector que aplican modelo de EC en sus procesos, es un

punto de referencia para un cambio de modelo productivo, dado que implica una transición de paradigma sobre la concepción de modelo de negocio.

En la era de los productos de un solo uso, desechables y de corta duración alimentados por la obsolescencia programada, los muebles ya no son la compra única en la vida como solían ser (Ramírez, 2019). Por consiguiente, la exploración de nuevas estrategias de negocio abre campo al actual entorno. Los modelos comerciales de economía circular se dividen en dos grupos: Los que fomentan la reutilización y prolongan la vida útil mediante reparaciones, remanufacturados y modernizaciones; y aquellos que convierten los productos viejos en recursos nuevos mediante el reciclaje (Stahel, 2016).

Bocken *et al.*, (2016) proponen tres líneas de negocios que se encuentran en consonancia con la EC. (1) Ralentizar los bucles de recursos: mediante reparación y re-fabricación. (2) Cerrar bucles de recursos: a través del reciclaje, se cierra el ciclo entre el post-uso y la producción. (3) Eficiencia de los recursos: utilizar menos recursos por producto. Las rutas de recuperación de recursos en la EC se centran en el funcionamiento de la reducción (prevención de residuos), la recuperación (reventa, reparación, y remanufactura) y reprocesamiento (reciclaje), generando menos pérdida de energía (Singh *et al.*, 2016).

En este sector, las oportunidades relacionadas con el modelo de EC están mayoritariamente vinculadas al ecodiseño, uso de materiales renovables, reducción de emisiones y uso de certificaciones ambientales (Bravi *et al.*, 2019). Para que este paradigma realmente funcione, es necesario buscar parámetros y estrategias a través del ecodiseño, desarrollando productos eco innovadores y amigables con el medioambiente (Vargas, 2021) sin dejar a un lado, las tendencias modernas de creación de muebles modulares que permiten a partir de paneles ensamblar muebles nuevos y diferentes, ayudando a convertir a la industria del mueble en líder de la economía circular (Nozharov, 2019).

4.3. Factor social

La producción circular permite brindar soluciones no solo en materia económica, sino ambiental y social, disminuyendo la presión sobre los recursos naturales. De forma conceptual esta concepción se conoce como “transición justa” (Heffron y McCauley, 2018).

En lo que concierne al sector del mueble, disponer de menos recursos maderables genera externalidades positivas que contribuyen a la conservación de los bosques

con beneficios sociales, elemento que debe estar presente en un análisis integral, debido a que la mayoría de los indicadores se enfocan solo en aspectos económicos, dejando a un lado aspectos ambientales y sociales. Este enfoque sesgado de la economía circular conduce a las suboptimizaciones al aplicar EC por parte de las empresas debido al enfoque más estrecho de la sostenibilidad (Kristense y Mosgaard, 2019).

Los beneficios sociales de la economía circular se muestran en el cambio cultural hacia un nuevo paradigma de producción y consumo, acompañado en el manejo de residuos y el poder del consumo sostenible (Gobierno de la República de Colombia, 2019). Los comportamientos deseables pueden fomentarse a través de la introducción de criterios de durabilidad, la extensión del tiempo de garantía, exigiendo prácticas de responsabilidad social a los productores o evitar la compra de productos desechables siempre que sean posibles (Aranda *et al.*, 2019). Estas acciones se pueden fortalecer a través de estrategias de comunicación e información para generar conciencia a los fabricantes y al público sobre su responsabilidad con los productos a lo largo de su vida útil (Stahel, 2016). Para entender las implicaciones de estos nuevos cambios es importante el monitoreo y la evaluación continua que permita identificar los efectos reales. La evaluación del impacto social es necesaria para evaluar cómo un producto o un proceso influye en los trabajadores, los consumidores, los ciudadanos y la cadena de valor (Wicaksono y Ahmad, 2020).

4.4. Factor tecnológico

En el campo tecnológico se viene acumulando en los últimos tiempos un vasto desarrollo para las diferentes industrias que posibilitan la transformación de insumos y materiales con mayor eficiencia, muchos de los casos adaptados a procesos circulares. El surgimiento de disrupciones y cambios tecnológicos, principalmente en forma de digitalización, nuevas fuentes de energía y almacenamiento, originan que las nuevas tecnologías se puedan utilizar para abordar los problemas de manera innovadora (Cavaleiro y Fuso, 2019).

La economía circular tiene como su gran aliada a la tecnología informática y en especial a internet, ya que permite la colaboración e intercambio de conocimiento más eficientes (Porcelli y Martínez, 2018) además de las nuevas plataformas de comercio electrónico que permiten brindar mayor alcance a los nuevos negocios. Es importante destacar el rol que está jugando en el mercado de muebles el

comercio electrónico; hoy en día esta modalidad se ubica como la principal fuente de crecimiento en ventas (Carrillo y Vázquez, 2018).

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, como las aplicaciones móviles y los sistemas de información geográfica, son algunos de los avances tecnológicos que posibilitan firmemente el surgimiento y el desarrollo de prácticas colaborativas (Porcelli y Martínez, 2018). Para el sector del mueble puede tener mucha utilidad, especialmente si el material residual de sus procesos (aserrín, viruta, astilla) puede ser útil para otras industrias cercanas, desarrollos que se pueden estar afectando por la falta de información disponible.

El éxito de la transición hacia la economía circular en América Latina y el Caribe dependerá de la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0, debido a que contribuye a la rentabilidad de nuevos modelos de negocio y, al mismo tiempo, reduce los impactos medioambientales (Schröder *et al.*, 2020). Las tecnologías como el Big data, computación en la nube, internet de las cosas, robótica avanzada, inteligencia artificial, sistemas para la integración vertical y horizontal, hiperconectividad, fabricación digital (3D), realidad virtual y aumentada (Rocha, 2019) ofrecen importantes alternativas para enlazar la cadena de valor forestal en la generación de nuevos negocios circulares. La Industria 4.0 puede servir para lograr una cadena de suministro basada en EC al reducir las emisiones de carbono, mejorar el proceso de remanufactura y también optimizar el proceso logístico (Bezuijen y Hördegen, 2021).

4.5. Análisis PEST sector de muebles de madera en Colombia

Con base en los resultados de los factores del macroentorno en el sector del mueble de madera se analizan las variables y estrategias que inciden en la implementación de un modelo de economía circular en este sector en Colombia. A continuación, la Tabla 3 contiene la Matriz PEST de las principales variables que impactan la aplicación de la EC en el sector del mueble de madera en Colombia.

Tabla 3. Matriz PEST de las principales variables que impactan la aplicación de la EC en el sector del mueble de madera en Colombia

Político-legal	Económico
*Política ambiental nacional. *Marco internacional en producción sostenible. *Reglamentaciones sobre el uso y manejo de madera y productos derivados. *Regulación del comercio internacional con enfoque ambiental.	*Tendencia económica. *Materia prima. *Líneas de negocios ambientales.
Social	Tecnología

*Consumo responsable. * Política de responsabilidad social empresarial.	*Adopción de tecnología.
--	--------------------------

Nota: La matriz contiene los factores y variables que tienen repercusión directa en el funcionamiento del sector muebles de madera en Colombia y a su vez, incidencia en un cambio de modelo circular.

Fuente: *Elaboración propia con base en la estructura del análisis PEST.*

4.6. Político-legal

A nivel de este factor, se concentran cuatro variables determinantes, compuestas por la política ambiental nacional, reglamentaciones del comercio internacional con enfoque ambiental, marco de producción sostenible y regulaciones sobre el uso y manejo de madera y productos derivados, encaminados a generar el desarrollo de estrategias que incentiven la implementación de métodos y sistemas menos contaminantes en el sector agroforestal.

Tabla 4. Factor, variables y estrategias político-legal relacionado a la EC en el sector de muebles de madera nacional

Factor	Estrato	Variables	Estrategias
Político	Nacional	Política ambiental nacional	Bolsa nacional de residuos y subproductos industriales, certificación cero residuos, Guía de compra y consumo responsable de madera, Sistema nacional de aprovechamiento de biomasa residual, Exenciones de impuestos a importaciones de tecnologías limpias y el Sello verde colombiano
	Subnacional	Marco internacional en producción sostenible	Consumo responsable y producción sostenible (Declaración de Johannesburgo), política de producción limpia (Proceso de Marrakech), Acuerdo de París y ODS
Factor	Estrato	Variables	Estrategias
Legal	Nacional	Reglamentaciones sobre el uso y manejo de madera y productos derivados	Salvoconducto para la movilización de especímenes de la diversidad biológica (Resolución 438), certificado de movilización (ICA), permisos y registros ambientales para exportar (libro de operaciones en la CAR o CDS, certificado de origen de la madera), permiso No CITES (exportar o importar ciertas especies biológicas),
	Subnacional	Regulación del comercio internacional con enfoque ambiental	La comercialización de la madera (EUTR) pretende prohibir la entrada de madera ilegal y sus productos derivados. Licencia FLEGT, que prohíbe el comercio de madera ilegal en UE, EE.UU., Australia y Japón.

Nota: En la tabla se clasifican las variables y estrategias relacionadas con las prácticas de EC en Colombia en factores y estratos.

Fuente: *Elaboración propia (ITP/CITEmadera, 2020) y (Rueda et al., 2016).*

Al hacer parte de la cadena forestal, el sector de fabricación de muebles de madera en Colombia se ve afectado por las medidas regulatorias tomadas en el manejo y control de los bosques maderables en el país y por las medidas ambientales internacionales, las cuales buscan generar un marco que propicie hábitos responsables de compra y consumo de madera que garantice la sostenibilidad de la oferta forestal.

Como elemento adicional, el aumento de las medidas relacionadas al control de las emisiones y elementos contaminantes en la industria, pueden generar sanciones importantes para este sector. Para el año 2016, la industria de madera en Colombia generó 11,6 millones de kg de residuos de madera, donde solo el 10% de este residuo fue reutilizado por los establecimientos (DANE, 2016). Estas políticas generan grandes retos para la industria forestal y en especial para el sector de muebles de madera, retos como: adaptarse a las restricciones que limitan el uso y el manejo de la oferta de su insumo principal como es la madera, mejorar sus procesos con el fin de superar las limitaciones impuestas por el aumento de las regulaciones para la exportación de muebles en perspectivas de nuevos mercados y buscar alternativas de aprovechamiento de los residuos generados.

4.7. Económico

En términos generales, el sector manufacturero de muebles se ha mantenido dinámico tanto en su componente de producción, ventas, exportaciones, como en el número de personal contratado, mostrando un comportamiento positivo en la variable “tendencia económica”. El sector del mueble colombiano ha venido creciendo tanto en su componente de demanda como en la oferta (Ronderos y Cárdenas, 2021). Para el año 2019, la producción bruta para el sector fue de 1,6 billones de pesos concentrándose principalmente en Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca, departamentos que vienen dinamizando el sector en los últimos años a través de la participación en la producción total; este último en especial con un crecimiento sostenido en el último lustro, y ubicándose en la primera posición de los departamentos de mayor producción de muebles de madera (Ver Gráfico 1).

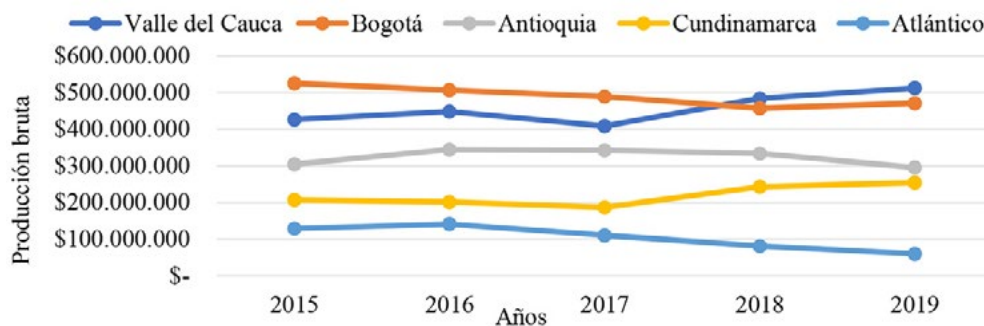


Gráfico 1. Comportamiento de la producción bruta de muebles de madera (2015-2019)

Nota: Los valores de la producción bruta se encuentran en miles de pesos colombianos

Fuente: Elaboración propia con base en EAM 2015-2019.

En Colombia es difícil hablar de industria del mueble, pues con excepción de algunas empresas con promedio entre 350 y 500 empleados, el subsector lo conforman pequeños talleres (Cámara de Comercio de Bogotá, 2004). La industria de muebles de madera en Colombia está conformada en su mayoría por pequeños talleres con carácter semiindustrial o artesanal (Navarro, 2011).

Pese a la estructura empresarial del sector, para el 2019 registró 17 mil empleados contratados y 1,65 billones de pesos en ventas. En lo que se refiere a las exportaciones de muebles, las cifras se han mantenido desde el 2018, registrando ventas al exterior por 43,8 millones de dólares FOB en el 2019, dirigido especialmente a Estados Unidos, Ecuador, Panamá e India, marcando el dinamismo económico del sector como una variable positiva.

Una segunda variable importante es la oferta de materia prima (madera), dado que depende de la oferta forestal y de la producción de los aserraderos. La producción de madera inicia en las plantaciones forestales o en bosques naturales; de la extracción se obtiene madera en rollo, que es transformada por la industria primaria obteniendo madera aserrada, la cual será insumo para la transformación secundaria (Trinidad *et al.*, 2019). Como se puede observar en la Figura 2, las áreas forestales en el país y la producción de la madera aserrada vienen presentando una tendencia negativa en los últimos 30 años, con algunos pequeños repuntes de la producción de madera aserrada que no son sostenidos y una demanda creciente de los sectores económicos, lo que termina produciendo un importante efecto en la variabilidad de los precios de la madera debido al descenso de la oferta y a una fuerte competencia en la demanda de esta materia prima por varios sectores.

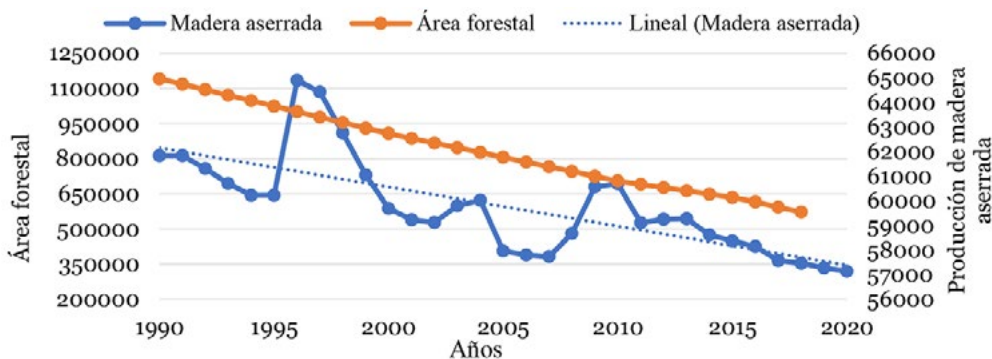


Gráfico 2. Comportamiento de las áreas forestales y producción de madera aserrada en Colombia (1990-2020)

Nota: Las áreas forestales se encuentran en miles y por hectáreas. La producción de madera aserrada se encuentra en m³

Fuente: Elaboración propia con base en Undata y FAOSTAT.

Las actividades económicas consumieron 2.907.532 toneladas de productos del bosque en el 2019, siendo las industrias manufactureras y la construcción las actividades que registraron mayor consumo con 59 % y 39,6 % respectivamente (DANE 2020).

La explotación de los bosques naturales en Colombia se hace en forma poco controlada con un alto componente de ilegalidad (Cámara de Comercio de Bogotá, 2004). Actualmente se estima que más del 40 % de la producción de madera en Colombia proviene de fuentes ilegales (Banco Mundial, 2006, como se citó en Delgado, 2013). Lo que, sin duda, limita aún más el control de las autoridades y genera mayores efectos en el precio de la madera legal. Se estima que en Colombia el potencial de la economía circular podría alcanzar 11,7 mil millones de dólares anuales en ahorros de materiales y nuevos negocios, así como la generación de encadenamientos y fortalecimiento de cadenas de valor (Gobierno de la República de Colombia, 2019). De tal forma, que la gran disponibilidad de residuos madereros que hoy tiene Colombia se considera un importante motor que impulsa la búsqueda de sistemas de producción sostenibles que apunten a convertir estos desechos en productos valiosos para diferentes sectores económicos (Trinidad *et al.*, 2019).

Especialmente en las principales capitales de fabricación de muebles como Bogotá, Medellín y Cali, debido a la lejanía con los principales centros de producción de materias primas Llanos, Amazonía y Pacífico se afectan los costos de producción (Navarro, 2011).

Los desechos de madera pueden tener muchos usos: aplicación energética, aplicación biotecnológica, elaboración de bio-adsorbentes, elaboración de tableros de partículas, compostaje, pellets, carbón activado (Trinidad *et al.*, 2019). A partir de lo anterior, se genera una serie de posibilidades para este sector, que se engloba en una tercera variable, como es la perspectiva de nuevos negocios y fabricación de productos eco-ambientales. Las tres variables de mayor efecto en el factor económico para el sector mueble de madera, poseen grandes implicaciones en la transición hacia la EC, la primera refleja el dinamismo que tiene esta actividad productiva en la economía colombiana, la segunda pone en riesgo la sustentabilidad del sector y la tercera aún falta por desarrollar en el país, pero presenta un panorama con una proyección prometedora.

4.8. Social

Las nuevas tendencias de consumo a nivel internacional y local no solo se relacionan con los productos, sino con los métodos y prácticas aplicadas por las empresas en el desarrollo de estos, consolidando el consumo responsable como factor de compra. Esta variable tiene implicaciones con el sector del mueble por medio de diferentes estrategias relacionadas con la responsabilidad social empresarial y el ecodiseño. La responsabilidad social corporativa percibida se confirma como un predictor significativo del comportamiento de compra (Rangel *et al.*, 2019).

Esta relación tiene grandes implicaciones en Colombia debido a la forma como se encuentran distribuidos los bosques. El 43,15 % se encuentran en territorios de comunidades indígenas; el 5,50 % en comunidades negras/afrocolombianas; el 2,27 % en reservas campesinas; el 15,58 % en áreas protegidas; y el 33,49 % en baldíos y otros (ITP/CITEmadera, 2020). Por lo tanto, la aplicación de prácticas responsables en el sector, como el uso y reciclaje de los residuos, el ecodiseño y compra responsable de madera, tienen grandes implicaciones con efectos en la disminución de la presión sobre el recurso forestal que se encuentra en el área de influencia de estos grupos sociales, generando mayores externalidades positivas. En Colombia se percibe una actitud positiva respecto del consumo socialmente responsable, con diferentes intensidades dependiendo de las características de cada uno de los segmentos poblacionales y de la dinámica propia de las actitudes (Peñalosa y López, 2018) lo que permite mencionar que se vienen desarrollando hábitos de consumo responsable y toma de conciencia en la preservación de los

recursos, elemento clave en la parte cultural que inciden en la consolidación de tendencia en consumo hacia la EC.

En los hogares del país se observan algunas prácticas de EC, como la separación en la fuente (39,9 %), práctica de reducción de consumo de agua y energía (95,1 %), este último en especial en la compra de bombillos de bajo consumo (DANE, 2020). No obstante, falta incentivar mayores prácticas relacionadas con el ecoconsumo donde se estimule la compra de productos ecoambientales y comunicar los beneficios de adquirir productos con el reconocimiento del sello verde colombiano.

4.9. Tecnológico

El desarrollo tecnológico en el sector manufacturero del mueble de madera viene enfocado en sistemas que optimizan el procesamiento de la madera, evitando la generación de menos residuos. Ferias como Interzum (Feria comercial de procesamiento de madera industrial y fabricación de muebles en Colombia) organizado por Koelnmesse, ofrecen actualizaciones de las últimas tendencias en equipos, métodos y sistemas a través de conferencias, además de las innovaciones tecnológicas de las principales marcas a nivel mundial.

Gracias a estas iniciativas, se acercan los nuevos adelantos al sector del mueble a nivel local, sin embargo, la adopción de nuevas tecnologías se ve limitada por varios elementos, entre ellos la forma en la que se organiza la producción en el sector, el acceso de los recursos financieros y la falta de planificación estratégica.

La mayoría de las empresas del sector de muebles de madera en Colombia son micro, pequeñas y medianas empresas con producción de carácter semiindustrial o artesanal presentando en común obsolescencia en el ámbito tecnológico (Trinidad *et al.*, 2019). lo que, sin duda, afecta la competitividad de todo el sector, y a su vez, contrasta con la realidad de las empresas del sector del mueble en el país. Las micro y pequeñas empresas del sector de muebles y madera desconocen la importancia de la industria 4.0 y su incidencia en las diferentes dinámicas del sector, donde la adquisición de equipos tecnológicos no tiene respaldo en su plan estratégico (Rocha, 2019). Partiendo de lo anterior, la variable “transición a nuevas tecnologías” impacta el desempeño de este sector en vista de adoptar nuevos sistemas sugeridos desde las estrategias de las “R”, las cuales se enmarcan en métodos limpios de producción, optimización en los insumos, diseños modulares y ecodiseños.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del análisis de los factores, se puede afirmar que un cambio de modelo en el sector de muebles de madera en Colombia tiene múltiples implicaciones sociales, ambientales y económicas; no obstante, las variables que intervienen en los factores de estudios nos permiten identificar los de mayor nivel de incidencia, es así que, en término político-legal sobresale, la política ambiental nacional, el marco internacional en producción sostenible, reglamentaciones sobre el uso y manejo de madera y productos derivados, y la regulación del comercio internacional con enfoque ambiental. En términos económicos, las variables tendencia económica, materia prima y nuevas líneas de negocios. En términos sociales, consumo responsable y política de responsabilidad social empresarial. Y en el factor tecnológico, la adopción de nuevas tecnologías. En conclusión, se resaltan las siguientes condiciones que presionan al sector muebles de madera hacia un cambio de modelo que responda por una producción sostenible, comercio justo y consumo responsable: 1) La regulación en la gestión de los residuos y el acceso a la madera. 2) El descenso de la cadena forestal. y 3) El desarrollo de productos ecoambientales.

En el mismo sentido, se sugiere que en próximas investigaciones se profundice en la medición del impacto causado por el aumento de la normatividad en el acceso y uso de la madera en este sector, y analizar los patrones de compra relacionados al ecoconsumo en el sector de muebles de madera en Colombia.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albaladejo, M., Mirazo, P., & Henao, L. (2021). What is the Circular Economy. IAP Industrial Analytics Platform. Retrieved from <https://bit.ly/36TLMg9>
- Aranda-Usón, A., Portillo-Tarragona, P., Scarpellini, S., & Llena-Macarulla, F. (2019). The progressive adoption of a circular economy by businesses for cleaner production: an approach from a regional study in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 119648. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119648
- Barbaritano, M., Bravi, L., & Savelli, E. (2019). Sustainability and Quality Management in the Italian Luxury Furniture Sector: A Circular Economy Perspective. *Sustainability*, 11(11), 3089. doi:10.3390/su11113089
- Bezuijen, N., & Hördegen, T. (2021). The impact of Blockchain Technology on the Transformation of the Swedish Furniture Industry towards Circular Economy (Thesis

- degree of Master). KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweedn. Retrieved from <https://bit.ly/3CbhgKo>
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. doi:10.1080/21681015.2016.1172124
- Bravi, L., Murmura, F., & D'Anghela, M. (2019). Wood furniture SMEs approaches towards Circular Economy: a literature review. Conference: Proceedings of the 1st Conference on Quality Innovation and Sustainability-ICQIS2019. <https://bit.ly/3vC1vuA>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2004). Guía Ambiental para la Fabricación de Muebles de Madera [PDF]. Bogotá. Recuperado de <https://bit.ly/3ILqG1F>
- Carballada, Á. (2020). La industria forestal de España en la Economía circular, ¿su integración es posible? *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 40, No. 2, p. 439). Universidad Complutense de Madrid. doi:10.5209/AGUC.72982
- Carrillo, G., y Vázquez, Á. (2018). “Tendencias y oportunidades para el sector mueblero en México en el campo de la innovación y la sustentabilidad”. Sello Editorial Universidad del Atlántico (pp.45-57). <https://bit.ly/3MkKV8F>
- Cavaleiro, A., & Fuso-Nerini, F. (2019). A Framework for Implementing and Tracking Circular Economy in Cities: The Case of Porto. *Sustainability*, 11(6), 1813. doi:10.3390/su11061813
- DANE. (2020). Economía circular: Primer reporte 2020. Recuperado de <https://bit.ly/3sCwTHI>
- DANE. (5 de noviembre 2021). Encuesta anual manufacturera 2019. [Fichero de datos]. Recuperado de <https://bit.ly/3sEuFHD>
- DANE. (20 de diciembre 2021). Encuesta ambiental industrial 2016. [Fichero de datos]. Recuperado de <https://bit.ly/34bFnfx>
- Delgado, M. (2013). Maderas de Colombia [PDF]. WWF-Colombia - Programa Subregional Amazonas Norte & Chocó Darién. Recuperado de <https://bit.ly/3hgzg8qr>
- DNP. (1996). Documento CONPES 2834: Política de bosques. Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Recuperado de <https://bit.ly/3vCDkMS>
- DNP. (2011). Documento CONPES 3700: (CONPES). Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3hzamoK>

- DNP. (2016). Documento CONPES 3866: Política nacional de desarrollo productivo. Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Recuperado de <https://bit.ly/3tLxcPV>
- DNP. (2016). Documento CONPES 3874: Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Recuperado de <https://bit.ly/3pAnP48>
- DNP. (2018). Documento CONPES 3934: Política de crecimiento verde. Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Recuperado de <https://bit.ly/3vBpv0V>
- Ellen MacArthur Foundation. (2014). What is a circular economy? Ellen MacArthur Foundation. Retrieved from <https://bit.ly/3tp3bFm>
- FAOSTAT. (23 de enero 2022). Forestal Producción y Comercio. [Fichero de datos]. Recuperado de <https://bit.ly/3HMoAgU>
- Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712–721. doi:10.1016/j.jclepro.2018.04.159
- Geng, Y., Sarkis, J., & Bleischwitz, R. (2019). How to globalize the circular economy. *Nature*, 565(7738), 153–155. doi:10.1038/d41586-019-00017-z
- Gesawahong, S., Wongwatcharapaiboon, J., & Muangnapoh, K. (2021). Identification of factors key engagement to influence the focus and promotion of the sharing platform sustainable furniture in the circular economy in Bangkok, Thailand. *Cities and environment of the future*, 7 (1): 11,1–10. doi:10.5334/fce.122
- Gobierno de la República de Colombia. (2019). Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio [PDF]. Recuperado de <https://bit.ly/36TUnPX>
- Heffron, R. J., & McCauley, D. (2018). What is the “Just Transition”? *Geoforum*, 88, 74–77. doi:10.1016/j.geoforum.2017.11.016
- Hinestroza, L., y Mena, M. (2011). Análisis sobre el marco jurídico que regula el aprovechamiento forestal en Colombia [PDF]. *Revista Biodiversidad Neotropical*. 1(2), 73-90. Recuperado de <https://bit.ly/3IIjcMO>
- Itani, N., O’Connell, J. F., & Mason, K. (2014). A macro-environment approach to civil aviation strategic planning. *Transport Policy*, 33, 125–135. doi:10.1016/j.tranpol.2014.02.024
- ITP/CITEmadera. (2020). Competencias empresariales en la industria de la madera [PDF], (FEDEMADERAS, A. Amaya Arias y O. Revueltas Silvas, Edits.) Bogotá: FEDEMADERAS. <https://bit.ly/3HFeWfQ>

- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264–272. doi:10.1016/j.ecolecon.2018.04.028
- Koelnmesse. (8 de enero 2021). Interzum: Feria forestal mueble de madera. Recuperado de <https://bit.ly/3MoBEwb>
- Kremer, P. D., & Symmons, M. A. (2015). Mass timber construction as an alternative to concrete and steel in the Australia building industry: a PESTEL evaluation of the potential. *International Wood Products Journal*, 6(3), 138–147. doi:10.1179/2042645315y.0000000010
- Kristense, H. S., & Mosgaard, M. A. (2019). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, 118531. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118531
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.042
- Linder, M., Boyer, R. H. W., Dahllöf, L., Vanacore, E., & Hunka, A. (2020). Product-level inherent circularity and its relationship to environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 121096. doi:10.1016/j.jclepro.2020.121096
- Minambiente. (2001). Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Minambiente [PDF]. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3sEmqLJ>
- Navarro, K. (2011). Análisis de la Cadena de Abastecimiento del Sector Madera y Muebles de la ciudad de Barranquilla. *Scientia et Technica*, 16(49), 229-238. <https://bit.ly/3hzzxr8>
- Nozharov, S. (2019). Identification of the Barriers to the Circular Economy—the Case of the Furniture Industry. In *Digitalisation and Circular Economy: Forestry and Forestry Based Industry Implications—Proceedings of Scientific Papers, 12th Wood EMA Annual International Scientific Conference* (pp.111-116). Recuperado de <https://bit.ly/3Kb5ORK>
- Peñalosa, M., y López, D. (2018). El estereotipo de los colombianos frente al consumo socialmente responsable. *Pensamiento y gestión*, 44, 243-260. doi: 10.14482/pege.44.10384
- Porcelli, M., y Martínez, N. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista Direito GV*, 14(3), 1067–1105. doi:10.1590/2317-6172201840
- Purwanto, D. (2011). Board and wood block making from waste of wood industries. *Journal of industrial Research*, Vol 5, 1, 13-20. Recuperado de <https://bit.ly/35RPYNe>

- Rangel, L., Ochoa, M., Azuela, J. y Hernández, F. (2019). La responsabilidad social corporativa y las tendencias de consumo de los millennials universitarios que laboran. *CienciaUAT*, 13(2), p.44. Recuperado de <https://bit.ly/3sEBWHD>
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., & Väisänen, J.-M. (2021). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy – Multiple case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105155. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105155
- Ramírez, M. (2019). Circular economy practices in the Australian commercial furniture industry. 3rd PLATE Conference 2019. Berlin, Germany. Recuperado de <https://bit.ly/3HKzDH3>
- Rocha, A. (2019). La incidencia de la inteligencia de negocios en la gestión gerencial de las empresas del mueble y la madera de Bogotá D.C. *Hojas y Hablas*, 18, 112-126. doi:10.29151/hojasyhablas.n18a9
- Ronderos y Cárdenas Consultores. (2021). Estudio de mercado sector de muebles [PDF]. *Sistemas.mre.gov.br*. Recuperado de <https://bit.ly/3C9cmgW>
- Rueda, A. Moreno, R. & Zúñiga, J. (2016). Guía de Compra y Consumo Responsable de Madera en Colombia [PDF]. FAO. Recuperado de <https://bit.ly/3K93H0E>
- Sammut-Bonnici, T., & Galea, D. (2015). PEST analysis. *Wiley Encyclopedia of Management*, 1-1. doi:10.1002/9781118785317.weom120113
- Schröder, P. Albaladejo, Alonso, P. MacEwen, M, y Tilkanen, J. (2020). La economía circular en América Latina y el Caribe: Oportunidades para fomentar la resiliencia [PDF]. *Chathamhouse.org*. Recuperado de <https://bit.ly/3pzyY5f>
- Sihvonen, S., & Ritola, T. (2015). Conceptualizing ReX for Aggregating End-of-life Strategies in Product Development. *Procedia CIRP*, 29, 639-644. doi:10.1016/j.procir.2015.01.026
- Singh, J., y Ordoñez, I. (2016). Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 134, 342-353. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.020
- Stahel, W.R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435-438. doi:10.1038/531435a
- Susanty, A., Tjahjono, B., & Sulistyani, R. E. (2020). An investigation into circular economy practices in the traditional wooden furniture industry. *Production Planning & Control*, 31(16), 1336-1348. doi:10.1080/09537287.2019.1707322
- Trinidad, L., Chalarca, L., Vega, Y., Rendón, C., y Tobón, S. (2019). Aprovechamiento de residuos madereros: cuantificación, caracterización y valorización [PDF]. Fondo editorial Remington. Recuperado de <https://bit.ly/35lpS5n>

- Undata. (23 de enero 2022). Forest Land. [Fichero de datos]. United Nations. Recuperado de <https://bit.ly/36U2mMV>
- Vargas, V. (2021). Estrategias de política pública colombiana. Proceso de transición a una economía circular. *Cuadernos de Administración*, 37(70), p.e2110814. doi:10.25100/cdea.v37i70.10814
- Wicaksono, P., & Ahmad, C. (2020). The Improvement of Production Process Impact in Furniture Industry Toward Circular Economy. *E3S Web of Conferences*, 202, 07052. doi:10.1051/e3sconf/202020207052
- Yiqiong, W. (2020). The Marketing Strategies of IKEA in China Using Tools of PESTEL, Five Forces Model and SWOT Analysis. Atlantis Press, Proceedings of the International Academic Conference on Frontiers in Social Sciences and Management Innovation (IAFSM2019), 348-355. doi: 10.2991/assehr.k.200207.054
- Yüksel, I. (2012). Developing a Multi-Criteria Decision-Making Model for PESTEL Analysis. *International Journal of Business and Management*, 7(24). doi:10.5539/ijbm.v7n24p52

CAPÍTULO II

RESIDUOS SÓLIDOS. UNA CARACTERIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL MUEBLE

Ximena Vargas-Ramírez¹

RESUMEN

Este capítulo describe los resultados obtenidos del muestreo, cuantificación y caracterización de los residuos sólidos de madera en una fábrica del mueble de Barranquilla, con el propósito de realizar una evaluación cuantitativa y cualitativa de los tipos de residuos sólidos de madera que se generan en 25 máquinas al producir las diferentes piezas de muebles para un muestreo de seis días. Los resultados obtenidos muestran que se generan 11,4 toneladas semanales de residuos, representado el 32 % de la madera procesada, siendo las máquinas de sierra las que mayores residuos generan. La clasificación de los residuos fue viruta con 24,1 %; aserrín 24,5 %; trozos cortos 43,2 %; y trozos largos 8,2 %. Los principales residuos por tipo de madera fueron: pino con un 91,7 % y las humedades de los residuos fueron todas menores al 1 % y el análisis granulométrico mostró tamaños de partícula diversos entre 0,7 mm y 1,7 mm.

Palabras clave: aserrín, caracterización de residuos, mueblerías, residuos sólidos, viruta.

ABSTRACT

This chapter describes the results obtained from the sampling, quantification and characterization of solid wood waste in a furniture factory in Barranquilla, Colombia, with the purpose of carrying out a quantitative and qualitative evaluation of the types of solid wood waste that are generated in 25 machines when producing the different pieces of furniture, the sampling was carried out for six days. The results obtained show that 11.4 tons of waste are generated per week, representing 32 % of the processed wood, being the saw machines the that generate higher residues and the classification of the residues was shavings with 24,1 %; sawdust 24,5 %; short pieces 43,2 %; and long pieces 8,2 %. The main residues by type of wood were Pinus 91,7 %. The humidity of the residues was below 1 % and the granulometric analysis showed particle sizes between 0,3 mm y 1,7 mm.

Keywords: sawdust, waste characterization, furniture, solid waste, chips.

¹ Doctora en Ingeniería. Magíster en Ingeniería Sanitaria. Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Ingeniera Química. Docente Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5647-2627>. Correo electrónico: ximenavargas@mail.uniatlantico.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas más preocupantes en el mundo es la acumulación de desechos sólidos, en particular el aserrín en las ciudades urbanas. En muchos países ha sido un grave problema ambiental, por ejemplo, en Nigeria, se han creado varios problemas tales como: vertimiento de desechos sólidos a fuentes de agua que afectan la flora y fauna acuática, quema de estos residuos sin los controles ambientales adecuados, generando gases de efecto invernadero y riesgo de incendio por su carácter inflamable en fábricas (Adegoke, *et al*, 2022) y problemas de generación de material particulado en su interior.

En ese sentido, esta generación de residuos sin la disposición adecuada está muy relacionada con un modelo lineal de producción y para enfrentar este problema se proponen prácticas en el marco de la economía circular (Karyn de Carvalho Araujo *et al.*, 2019). Shahidul *et al*, 2018, han propuesto diferentes alternativas para los residuos de madera, para promover la economía circular, tales como: reciclaje de muebles de desecho a base de madera, para ello, se han utilizado diferentes tipos de desechos: recortes de madera maciza, aserrín, recortes de madera de ingeniería y virutas. Con ellos, se fabrican diferentes productos de valor agregado a partir de desechos de madera, incluidas lascas de chapa, astillas de madera y fibras. También, se ha producido una variedad de materiales de construcción, tales como: madera contrachapada, madera de chapa laminada, madera laminada encolada, tableros de partículas y tableros de fibra de densidad media (MDF).

Dentro de las alternativas más estudiadas están los tableros de madera (De Carvalho Araujo *et al.*, 2019, Pirayesh *et al*, 2019, Banjo y Akinyeni, *et al.*, 2019). De acá surge la pregunta sobre conocer la cantidad y propiedades que tienen los residuos para tener su máximo aprovechamiento, es por esto que el presente capítulo tiene como finalidad mostrar los resultados del muestreo y caracterización de los residuos sólidos de las empresas de muebles de madera, en particular la fábrica de muebles de Barranquilla, en el marco del proyecto “Aprovechamiento de residuos sólidos y reducción de material particulado en fábricas de muebles de madera mediante el desarrollo de soluciones tecnológicas enfocadas a la optimización en el consumo de materia prima y reducción de su impacto ambiental en los entornos laborales”.

El propósito fue identificar las características físicas y los tipos de residuos sólidos generados en la fabricación de muebles de madera con el fin de ser un referente

para la toma de decisiones sobre las propuestas tecnológicas para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el proceso productivo de fábricas de muebles de madera, de tal forma que a partir de los resultados se puedan definir alternativas de reutilización a través de la elaboración de paneles o tableros y otras opciones, de manera que puedan integrarse al proceso productivo de las piezas de muebles. La caracterización de los residuos sólidos de madera se realizó en las instalaciones de la fábrica de muebles de Barranquilla.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. *Antecedentes de investigación sobre caracterización de residuos sólidos*

Quizás el primer paso para el aprovechamiento de residuos es medir sus propiedades, con el fin de poder visualizar su potencial de reúso y estar acorde con las tendencias de la Economía Circular. En ese sentido, en el contexto internacional, en los últimos diez años, se han venido investigando diferentes pautas para el manejo y aprovechamiento de los residuos de madera procedentes de diferentes industrias; por ejemplo, Eshun para el año 2012, en un estudio realizado en Ghana, África, estableció que para la adecuada formulación de estrategias para reducir la generación de los residuos de madera es necesario una identificación, cuantificación y un análisis causal de todas las fuentes generadoras de los desechos de madera del sector, encontrando que dentro de las causales de esta acumulación está la ineficiencia a la hora de usar residuos como el aserrín presente en la industria, por lo cual afirma que la adecuación de alternativas tecnológicas, las buenas prácticas operativas y medidas de reciclaje podrían reducir la generación de residuos aproximadamente el 50 % (Eshun, *et al.*, 2012).

De la misma forma, Đercan, *et al* (2022) en una investigación realizada en Serbia, menciona que los avances tecnológicos y desarrollo de mercados alternativos han permitido desarrollar opciones para una mayor utilización de los residuos de madera, como: la posibilidad de eliminar algunos contaminantes y fabricar materiales de alta calidad en distintos mercados, entre los cuales se contempla la fabricación de paneles o pellets que podrían usarse de manera interna para las empresas o comercializarse externamente.

Por su parte, Vítěz y Trávníček (2010), realizaron una investigación, midiendo la distribución de tamaño de partículas de aserrín y virutas de madera, mediante distribución estadística con el fin de tener información para el diseño adecuado

de los dispositivos de combustión en aras de poder diseñar de forma más eficiente este espacio para este tipo de combustible. Así mismo, Maharani, *et al*, (2010), estudiaron varias propiedades físicas del aserrín, como: distribución del tamaño de partícula, densidad de partícula, porosidad y retención de agua de cinco especies de madera comercial tropical (*Shorea leprosula*, *Dryobalanops lanceolata*, *Dipterocarpus cornutus*, *Shorea laevis* y *Eusideroxylon zwageri*), en conjunto con tres tipos de aserraderos (corte manual y dos tipos de aserraderos). El uso de una sierra de mano produjo una mayor proporción de partículas de gran tamaño (< malla 24) y partículas de tamaño mediano (malla 24 a 60) que el aserradero. Para cada especie de madera, la proporción de partículas grandes fue menor que la de medianas y pequeñas (malla 60 a 80). En síntesis, todos estos avances permitieron incursionar en conceptos claves en el aprovechamiento de recursos finales disponibles y que se obtengan dividendos no solo económicos sino también de carácter ambiental favorable.

2.3. Residuos sólidos y su caracterización

De acuerdo con el Decreto 838 de 2005 de Colombia, los residuos sólidos se definen como el objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final (Decreto 838 de 2005).

En ese sentido para determinar el posible aprovechamiento, se requiere realizar caracterizaciones, las cuales son una herramienta fundamental de diagnóstico situacional de un plan ambiental para el manejo integral de los sólidos que consiste en determinar las características cualitativas y cuantitativas de estos, identificando sus contenidos y propiedades (Amos, 2011, p.2). Una caracterización preliminar lleva como elemento central, estimar la cantidad promedio (Kg), volumen (m^3) y densidad (Kg/m^3) de los residuos y desechos, y determinar sus componentes individuales (Amos, 2011, p2), además de determinar propiedades como humedad, granulometría, poder calorífico, entre otros, para evaluar los posibles usos en aplicaciones de nuevos materiales o aprovechamiento energético. En particular, en la industria de la madera y en especial la del mueble, la caracterización de los residuos es vital para definir opciones de recuperación, como mencionan (Chalarca, Trinidad. *et al.*, 2019)

No cabe duda de que los usos alternativos dependen de la cantidad de residuos disponibles y de su calidad; por lo tanto, la cuantificación del volumen de desechos producto del aserrío y transformación secundaria se convierte en el primer paso para evaluar su uso potencial (p.30).

Sumado a lo anterior, en el proceso de caracterización se deben considerar ciertas condiciones del entorno (en especial cuando se realiza en entornos productivos), también elementos como: sistema de producción, manejo de maquinaria, equipos, y sistemas de recolección con el que cuente la empresa; todos estos son determinantes a tener en cuenta para obtener mediciones óptimas sin comprometer la producción de la misma y la integridad del personal encargado. En el primer paso de la caracterización, se identificaron los tipos de residuos que son generados en la actividad productiva. En el caso de la fabricación de muebles, se tiene que los residuos sólidos “generados en la industria de la carpintería y fábrica de muebles son: el aserrín, viruta, recortes de maderas y tableros” (Confederación 13 Española de Empresarios de la Madera, 2009). En este caso los tipos de residuos se definieron así:

Tabla 5. Definición de los residuos sólidos

Tipo de residuo	Definición
Viruta	Es un fragmento de forma laminada curvada o espiral producto de un material obtenido a través de la utilización de un cepillo u otras herramientas de corte como pueden ser las brocas, cuchillas de torno, fresas, etc., al efectuar trabajos de cepillado, desbastado o perforación, sobre madera o metales. Se suele considerar un residuo de las industrias madereras o del metal; no obstante, tiene variadas aplicaciones (ECURED, 2016).
Aserrín	Partícula fina que se deriva del aserrado de la madera, con un tamaño de partícula de 1 a 5 mm.
Puntas de corte transversal o trozos de madera	Elementos cortos de biomasa leñosa que se obtienen cortando transversalmente los extremos de trozos de madera aserrada (Lesme y Oliva, 2010).

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Confederación 13 Española de Empresarios de la Madera (2009)

2.4 Propiedades de los materiales

2.4.1 Densidad

La densidad en compuestos como tableros es una medida de compactación individual de una partícula dentro del tablero y es dependiente de la densidad de la madera y la presión aplicada durante el prensado (Zambrano, *et al* 2013). Un estudio realizado en Brasil, con compuestos de polipropileno y harina

de madera, tenía como fin expandir el material usado en diferentes agentes espumantes químicos y físicos, encontraron que propiedades como la densidad representan un aspecto importante para la fabricación de materiales, tal es el caso de la industria de la construcción y la automotriz, ya que se plantea desarrollar compuestos a partir de materiales reciclados con madera como materia prima que puedan ser más ligeros, es decir que presenten valores bajos de densidad (Arenhart y Bohrz, 2013).

De igual forma, una investigación sobre la fabricación de materiales de construcción con cenizas de madera, específicamente el caso del hormigón obtuvo que los valores de densidad son bajos, cuando se presenta el reemplazo del cemento por las cenizas de madera, esta es mayor hablando en rangos de reemplazo del 40 %, lo que indica que aumentar el material reciclado es beneficioso para lograr valores bajos de densidad (Chowdhury *et al.*, 2015). Asimismo, investigaciones realizadas con materiales compuestos de plástico y madera para la fabricación de tableros, mostró que la densidad es mucho mayor a la de las materias primas que se utilizan en su fabricación, resaltando también la importancia de la densidad de los tableros en relación con otras propiedades como la absorción del agua e hinchazón de material (Martínez *et al.*, 2020).

2.4.2 Absorción del agua

Este término se refiere a la capacidad de un material para absorber el agua, y esta a su vez se define como la relación entre el peso del agua absorbida por un material en estado saturado y el peso del material seco. El porcentaje de absorción de agua se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación que sigue la norma ASTM D570 (Intertek, 2020):

$$\% \text{ Absorción del agua} = \left[\frac{(\text{peso húmedo}) - (\text{peso seco})}{\text{peso seco}} \right] \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Algunos trabajos realizados para la aplicación y fabricación de compuestos de plástico y madera compararon que, en términos de esta propiedad para material reciclado, los valores de absorción de agua de los materiales son mayores con relación a los del material virgen sin tratar, lo cual puede deberse a los diferentes tratamientos previos del material reciclado incluyendo ciclos repetitivos de uso que inciden directamente en la degradación del mismo (Najafi *et al.*, 2013). En un estudio experimental se identificó que los valores de absorción del agua se determinaron siguiendo los estándares ASTM D-7031-04 correspondiente a

absorción de agua, donde se relaciona el peso de la muestra secada en horno y la muestra sumergida dado cierto tiempo (Kordkheili *et al.*, 2013). Igualmente, un estudio realizado para la obtención de un compuesto de aluminio, madera y plástico menciona que la absorción del agua está ligado a la porosidad, cantidad de fibras lignocelulosas, y la disponibilidad del material para contener humedad (Chavooshi y Madhoushi, 2013).

2.4.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad en residuos de madera consiste en la relación de la muestra después de un proceso de secado y la muestra inicial sin secado, el primero se realiza durante un periodo de 24 horas, por lo cual el contenido de humedad se relaciona con el tiempo que se someta la muestra, y esta medición es con respecto a su peso inicial, como se observa en la siguiente ecuación (Mohebbi *et al.*, 2009).

Ec. 2

$$MC_t = \frac{M_t - M_o}{M_o} \times 100\%$$

Donde M_t corresponde a la muestra seca y M_o la muestra inicial.

Desde otra perspectiva, Arenhart Soares, en una investigación para fabricación de compuestos de harina de madera y polipropileno usando agentes espumantes, identificó en su análisis que el contenido de humedad en la madera puede destruir la estructura celular de espumas compuestas como resultado de la baja solubilidad del agua en los polímeros (Arenhart y Bohrz, 2013). Así mismo, Hyung Kim determinó en su estudio para fabricación de tableros de partícula de madera, que el secado de la muestra permite disminuir considerablemente el contenido de humedad el cual incide directamente en la calidad del material final; menciona también que la energía requerida para secar la madera fresca es mayor que la utilizada para los residuos de madera, puesto que en la primera hay mayor contenido de agua, todo ello antes de establecer los tamaños de partícula para el mencionado material (Hyung y Byul, 2014).

2.4.4 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula es una de las propiedades más importantes de materiales sólidos y corresponde a la distribución del material particulado de acuerdo con diferentes formas como el diámetro de la partícula denotado a partir de los tamaños nominales de las mallas pasantes. Según estudio de Riski *et al* (2010), se afirma que generalmente, diferentes tipos de corte (corte manual vs aserradero

o molinos) producían aserrín con diferentes distribuciones de tamaño de partículas. Por lo cual, conocer este tamaño permite obtener materiales acordes con las diversas aplicaciones de los residuos de madera como el aserrín en industrias de construcción, energía, entre otros (Vítěz y Trávníček, 2010). Para compuestos fabricados a partir de residuos de madera y que emplean polipropileno como material de refuerzo estructural e incluyen elastómeros, el tamaño de partícula en las muestras de madera incide en la posibilidad de desunión de la estructura polimérica compuesta, aumentando la separación de la matriz/interfase de relleno en los productos, cuando el tamaño de partícula de la madera utilizada es cerca de 0,01cm haciendo necesario e indispensable un agente de acoplamiento. (Sudar *et al.*, 2014).

Spear *et al.*, menciona que algunos fabricantes de compuestos poliméricos de madera desarrollan el uso de residuos como virutas o aserrín, puesto que les permite moler o tamizar para seleccionar el tamaño de partícula, dándole uniformidad a la mezcla (Spear *et al.*, 2015). Ahora bien, en fabricación de materiales como briquetas a partir de aserrín, el tamaño de partícula es inversamente proporcional a propiedades como la durabilidad (resistencia mecánica), ya que las partículas pequeñas tienen mayor área superficial durante procesos de densificación (Mitchual *et al.*, 2013).

De acuerdo a lo anterior, en un estudio para fabricación de tableros de partículas de cemento, que consisten en un material compuesto producido en placas formado principalmente por madera y cemento y que puede contener aditivos, se encontró que los tamaños de las muestras para producir estos materiales son importantes a la hora de evaluar aspectos como resistencia a la compresión donde se tengan superficies rugosas específicamente hablando de tamaños de 10 x 10 x 3.2 cm (Faria *et al.*, 2013).

2.5. Materiales fabricados a partir de residuos de madera

Dentro de las alternativas para realizar economía circular, se tiene la opción de fabricar materiales a partir de residuos de madera, sin embargo, se debe tener en cuenta que la madera es un material muy variable, tanto entre especies como dentro de ellas, y no solo en apariencia sino, en propiedades como la densidad resistencia y durabilidad (Demirkir *et al.*, 2012). En ese sentido, es importante estudiar las propiedades de la madera, así que varios autores han estudiado propiedades como: el tamaño de partícula, la conductividad térmica, porosidad y la humedad, entre otras, como se describe a continuación:

Para el año 2013, se realizó un estudio para implementar un tipo de molienda mecánica a través de un molino Szego, un tipo de molino de rodillos de anillo que maneja tasas de material hasta 500Kg/h a escala piloto; junto a esto se efectuó la evaluación de los residuos de madera e incluyó estudios sobre la influencia de los tamaños de partícula de estas, encontrando que la reducción del tamaño de partícula requiere grandes gastos energéticos, ejemplo de esto fue una pulverización de la madera residual en valores debajo de 1000 μm de tamaño en los procesos de cocción en suspensión; sin embargo, la reducción del tamaño a su vez facilita su manipulación y transporte, finalmente se establecieron relaciones de energía específica del orden de 20kWh/ tiempo de madera secada al horno (Gravelsins y Trass, 2013).

Así como el tamaño de partícula incide en el desarrollo de los residuos de madera, también el contenido de humedad y la conductividad térmica han sido estudiados, Tal es el caso de Taoukil (2013) quien investigó la influencia de estas propiedades en materiales de madera y hormigón fabricados en porcentajes de hasta un 30 % mediante un proceso de secado y luego la determinación de estas propiedades, encontrando que la disminución de humedad reduce la conductividad térmica del compuesto en las muestras donde el contenido de madera es mayor. Encontró, además que el aumento de la porosidad del material resultante disminuye la densidad y directamente la conductividad térmica del mismo (Taoukil *et al.*, 2013).

Ahora bien, un estudio realizado por Lakraflí, *et al* (2013), evaluó las propiedades térmicas de los residuos de madera, usando materiales como aserrín y virutas de industrias de carpintería. El estudio exploró la posible aplicación de estos materiales junto a residuos de cuero como mezcla de relleno de probetas huecas y también como material de separación en paneles cemento/arena. Los resultados mostraron la factibilidad de usar estos materiales como aislantes térmicos, dado que al ser secados presentan bajos contenidos de humedad, un peso más ligero y pueden competir de manera idónea con otros materiales aislantes.

Así pues, el uso de los residuos de madera para fabricación de nuevos productos o materiales, comprende además la evaluación de las propiedades mecánicas de los compuestos resultantes; por ejemplo, en una investigación realizada para fabricar compuestos de madera con refuerzo de fibra de vidrio mediante la técnica de manufactura aditiva, se encontró que la técnica de impresión en 3D, permite mejorar la eficiencia con respecto a la utilización de la materia prima, así como el mejoramiento considerable de las propiedades mecánicas de los compuestos con

la incorporación de la fibra de vidrio; las muestras se realizaron mediante moldeo de los residuos de madera y un termo endurecible, en el caso específico urea-formaldehído con y sin el uso de la fibra; de manera paralela se hizo la formulación con manufactura aditiva mediante la técnica de deposición de capas; todas las muestras siguieron por un proceso de curado, y las mezclas resultantes de la forma aditiva poseían propiedades mecánicas mayores que las demás, en el caso de la resistencia a la tracción con un aumento del 73% de esta propiedad, lo cual está dado por la densificación de la materia prima-pasta resultante (Pitt *et al.*, 2017). Por lo anterior, las propiedades de los residuos de madera permiten conocer la idoneidad de estos en el desarrollo de subproductos. Por ejemplo en un estudio realizado en Brasil, los residuos de madera fueron caracterizados por análisis termogravimétrico, difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido, SEM y tamaño de partícula para analizar la posibilidad de implementarlos como arena en productos a base de cemento, para ello se tamizaron para lograr los tamaños de partícula acordes a los de la arena usada en el cemento tradicional para seguir con procesos de secado y calcinación, encontrando que la densidad es similar a la de arena común, por lo que se consideró la futura aplicación de estos materiales como fuentes potenciales para reemplazar la arena en compuestos a base de cemento teniendo en cuenta el control de la tasa humedad dada la hidratación que debe tener el cemento (Bennack *et al.*, 2016). Estos ejemplos muestran materiales y compuestos fabricados a partir de los residuos de madera, donde en los productos desarrollados se tienen en cuenta propiedades importantes para evaluar su factible aplicación en el desarrollo de productos con propiedades absorbentes, para la construcción, materiales con fines energéticos las cuales son: densidad, absorción del agua, contenido de humedad, y tamaño de partícula principalmente.

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño

El proceso de caracterización y medición de los residuos sólidos de madera es un análisis descriptivo mixto (cuantitativo-cualitativo) dada la naturaleza de los datos, ya que se persigue cuantificar los residuos y describir los tipos de residuos de madera resultantes en la fábrica elegida, teniendo como unidad de análisis los equipos utilizados en la fabricación de piezas para muebles. Así, los residuos sólidos son tomados y originados por las máquinas donde se hizo el monitoreo y caracterización, el cual fue realizado in situ, en las instalaciones de la fábrica

de muebles de Barranquilla. Posteriormente el análisis de las propiedades de los materiales como: humedad, densidad y análisis granulométrico se realizó en las instalaciones de la Universidad del Atlántico.

3.2. Participantes

Se toma como muestra la totalidad de los equipos que dispone la fábrica de muebles para la elaboración de las piezas de mobiliarios (25 máquinas), analizados en la semana típica con el propósito de medir un ciclo de producción promedio, midiendo la totalidad de los residuos sólidos generados en la semana de referencia, por cada equipo.

De acuerdo al Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA] (2008).

El ciclo define el tiempo mínimo de caracterización y aforo, el cual debe corresponder con el periodo del proceso o actividad de mayor duración; en caso de ser inferior a una semana el tiempo mínimo de muestreo debe ser de siete días (p.42).

Para el caso, la medición de esta fábrica de muebles de Barranquilla, se determinó en seis días, debido a que el domingo no se labora. La semana de referencia se seleccionó de un muestreo no probabilístico por conveniencia, dada la característica de la investigación en la limitación del tiempo y el comportamiento estacional de la producción de muebles en ciertos meses, como menciona Sampieri (2014) "Las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación" (p.189) teniendo en cuenta que la variable a analizar es el total de los residuos sólidos de madera generados en un mes de producción promedio.

3.3. Fases metodológicas de la investigación

El procedimiento de muestreo y cuantificación de los residuos tuvo tres fases, las cuales se presentan a continuación:

3.3.1. Fase 1: Exploratoria

Se realizó una visita exploratoria a las instalaciones de la fábrica con el objetivo de identificar los equipos con los que dispone para procesar la madera y conocer el sistema de producción. Luego, se efectuó una capacitación al equipo de campo, socializando las funciones y el trabajo a realizar (tabulador, recolector y medidor de balanza) y finalmente, se realizó una compra de equipos y herramientas correspondientes.

3.3.2. Fase 2: Registro y medición de residuos sólidos

El registro y medición de los residuos sólidos, se hizo en tres etapas: clasificación, recolección y pesaje. En la etapa de clasificación, se identificaron y separaron los residuos por su tipo y por el material (madera). En la etapa de recolección, se analizó cada equipo con la finalidad de observar si disponía de algún sistema de almacenamiento y su tipo. En la fábrica se observaron dos sistemas, el colector de polvo, el cual se encuentra conectado a ciertas máquinas (sierra circular hiladora, cepilladora doble cara, moldurera de 4 cuchillas y canteadora múltiple), y el barril de hierro; en este último la recolección se realiza de forma manual por el recolector (sierra de banda y tronadora). Así en los equipos que no disponían de sistema de recolección, se realizó la clasificación de los residuos en el piso y posteriormente se almacenó en costales de poliéster. En la segunda etapa, el material se desplazó a la zona de pesaje para que el medidor de balanza midiera y luego, se informaba al tabulador el peso y tipo residuo, el tipo de madera y código del equipo, para el registro. Con esta misma información se rotulaba el costal teniendo como referente la Guía para el manejo integral para los residuos del Área Metropolitana del Valle Aburrá (AMVA, 2008) y Chalarca, Trinidad *et al.* (2019).

3.3.3. Caracterización física de los residuos

En la caracterización física de los residuos se midieron tres características: la densidad aparente, la humedad y el análisis granulométrico. La medición de las muestras se realizó de la forma evidenciada en la Tabla 6:

Tabla 6. Características físicas de los residuos sólidos

Característica	Proceso de medición
Densidad	Se realizó pesando un volumen fijo de 50 ml, medido en una probeta y se agitó levemente a fin de cubrir los orificios y tener una muestra más compacta. La masa se midió en una balanza analítica "Ohaus" del laboratorio de tres cifras decimales y el resultado se calculó mediante la siguiente fórmula: $D = m \text{ (peso de la balanza, g)} / V \text{ (volumen de la probeta, ml)}$ (3)
Humedad	Se tomó como base la norma ASTM D-4933 -16 y para ello, se pesaron muestras de 20 g aproximadamente, definida como m1, en una balanza, luego se colocó la muestra en un horno marca Binder a 105°C durante dos horas, posteriormente, se puso la muestra en un desecador por 20 minutos y finalmente, se midió nuevamente el peso (m2) y esto se realizó hasta peso constante y por diferencia de peso se halló el porcentaje de humedad mediante la siguiente fórmula: $\% \text{ humedad relativa} = (m1 - m2) / m1 * 100$ (4)
Análisis granulométrico	Este solo se realizó a las muestras de viruta y aserrín, dado el tamaño de las muestras de los trozos de madera. Inicialmente se inspeccionaron las muestras de viruta y aserrín y se determinaron las mallas a utilizar.

Fuente: Elaboración propia con base en el proceso de caracterización de residuos. (2021)

Cabe destacar que, para el análisis granulométrico realizado a las muestras de viruta y aserrín, se tuvieron en cuenta las mallas evidenciadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Mallas del análisis granulométrico

Apertura					
Número de malla	In	Mm	Número de malla	In	Mm
12	0,661	1,7	30	0,234	0,6
14	0,555	1,4	35	0,197	0,5
16	0,469	1,18	40	0,165	0,425
18	0,394	1	45	0,139	0,355
20	0,331	0,85	50	0,117	0,3
24	0,276	0,701			

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del análisis granulométrico (2021)

Finalmente, se seleccionó en la tamizadora un tiempo de agitación de 30 minutos y se colocaron en dos tandas de cinco y seis mallas para cubrir los tamaños de partícula con las muestras, luego se midió en balanza analítica cada una de las mallas y se calculó el tamaño de abertura contra el peso de pasante, de la siguiente forma:

Peso retenido= m_1

$$\text{Fracción de retenido} = m_1 / \sum m_1 \quad (5)$$

$$\text{Fracción de pasante} = 1 - m_1 / \sum m_1 \quad (6)$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Cantidad y tipología de los residuos

En el análisis realizado en la semana de referencia, a los residuos generados por los 25 equipos con los que cuenta la fábrica de muebles en mención, se registraron un total de 11.389,52 kg, aproximadamente, 11,4 toneladas de residuos sólidos, representado el 32 % de la madera procesada, los resultados obtenidos son acordes con la literatura consultada, dado que se menciona que en este tipo de proceso se pierde entre el 25 % a 40 % de la madera procesada. Los residuos se clasificaron en cuatro categorías: viruta, aserrín, trozos cortos y trozos largos, con relación a los trozos de madera largos (mayores a 30 cm) la mayoría de estos, se originan de algunos cortes laterales que se realizan en la sierra hiladora, los

trozos cortos, son ejecutados espacialmente para alcanzar el espesor deseado para fabricar las piezas de los muebles. El total de residuos obtenido durante una semana (seis días), fue aproximadamente de 1.898,2 ton/día. La distribución se presenta por material y por tipo de residuos, las cuales se presentan en las Figuras 3, 4 y 5.

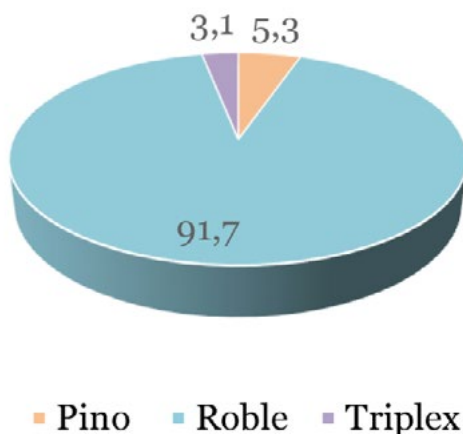


Gráfico 3. Porcentaje de residuos con relación al tipo de madera

Fuente: Elaboración propia con base en la clasificación de residuos (2021)

De acuerdo con el Gráfico 3, la mayoría de los residuos corresponden a Roble (*Quercus humboldtii*) dado que es el principal tipo de madera para la fabricación de muebles, seguido del pino caribeño (*Pinus Caribaea Morelet*) y el triplex, estos mismos resultados se obtuvieron en los residuos generados por tipo de madera, donde el 91,7 % corresponde a roble, seguido de pino 5,3 %, y triplex 3,1 %.

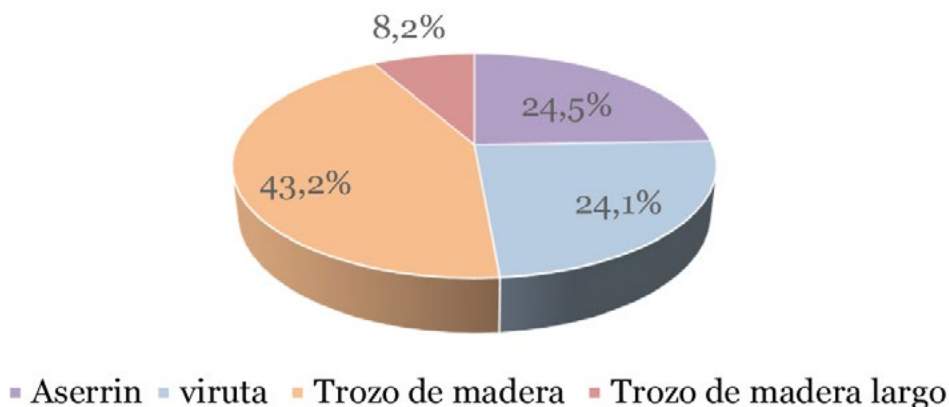


Gráfico 4. Cantidades según tipo de residuo

Fuente: Elaboración propia con base en el estudio de clasificación de residuos (2021)

De acuerdo con el Gráfico 4, los trozos de madera son los que están en mayor cantidad y se ven representados en el 43,2 % del total, seguido de un 24,5 % de aserrín, 24,1 % de viruta y trozo de madera largo con menos de 10 % de total. Así, el total de residuos de trozos de maderas menor a 30 cm duplica los valores de los demás residuos, estas diferencias se justifican por la cantidad de madera que se desecha al definir el patrón de la pieza en el corte de la tabla, donde se deja una gran distancia entre el patrón de una pieza y otra; en algunos casos esto se debe a defecto que pueda tener la madera o en otros casos se deja espacio para tener mayor maniobrabilidad al momento de hacer el corte, según las respuestas recibidas por los operarios y el jefe de producción.

Por otro lado, al analizar los resultados por tipo de residuo y por tipo de madera, se obtuvo que el 46 % de los residuos de pino hallado es aserrín, mientras que el 44 % es roble en trozo de madera y el 69 % residuos de tríplex que se encuentra en trozos de madera. (Ver Tabla 8).

Tabla 8. Porcentaje de residuos por tipo de madera y tipo de residuos

Tipos de madera/ tipos de residuos	Pino	Roble	Tríplex
Aserrín	46 %	23 %	31 %
Trozo de madera	20 %	44 %	69 %
Trozo de madera <30 cm	3 %	9 %	0 %
Viruta	32 %	24 %	0 %
Total	100 %	100 %	100 %

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis por tipo de residuo. (2021)

Con respecto a la generación de residuos durante la semana, se puede inferir que los días en los cuales se genera menor cantidad de residuos corresponden al primer y último día del ciclo de producción (lunes y sábado), estos datos se obtienen porque el lunes se realizan los cortes de los tablones de madera, mientras que los otros procesos avanzan de manera paulatina generando que la cantidad de los otros residuos sea menor, mientras que el sábado se realizan trabajos de corrección o perfeccionamiento de los bordes de las piezas y empaques de las piezas producidas. Resultados que se pueden visualizar en la Tabla 9, presentada a continuación:

Tabla 9. Residuos sólidos de madera producidos por día

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
1,4089	2,2395	1,9394	2,2201	1,9392	1,6424	11,3895
12 %	20 %	17 %	19 %	17 %	14 %	100 %

Nota. Valor por día/ tonelada

Fuente: *Elaboración propia con base en los resultados de los residuos producidos por día. (2021)*

En cuanto a las actividades desarrolladas los días de semana, de martes a viernes se realizan trabajos de torneado, cepillado, perfilado y calibrado, utilizando equipos como canteadora, escopleadora, tupí, escuadradora o cepillos industriales, lo que aumenta la cantidad de otros residuos como viruta y aserrín, generando un incremento importante en el total de residuos en términos generales, dado que se mantiene constante la cantidad de residuo de trozo de madera menor a 30 cm producido en el transcurso de los días.

Con relación a las máquinas, fueron en total 25 (ver Tabla 10), la mayoría de estos equipos sobrepasan los cinco años de uso, y en algunos casos se encontraron modelos que tienen más de 30 años; sin embargo, se les realiza un mantenimiento continuo, garantizando su correcto funcionamiento. En este orden de ideas, los modelos de los equipos que generaron mayores niveles de residuos son las sierras de banda (30 %), sierras circular hiladora (24,6 %) y la cepilladora de cara (17,9 %) en su orden.

Tabla 10. Número de máquinas por cada uno de los modelos

Máquina	Cantidad
Sierra de banda	4
Ingleateadora	4
Sierra circular hiladora	2
Escuadradora	1
Canteadora múltiple	1
Sierra de banco	1
Taladro múltiple	1
Espigadora	1
Doble cara cepilladora	1
Trompo o Tupi de madera	2
Moldurera de 4 cuchillas	1

Tronzadoras	4
Escopleadora	1
Canteadora	1
Total	25

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del estudio de la maquinaria. (2021)

4.2. Cantidad de material de residuos sólidos capturado por cada máquina

Un elemento importante en el procesamiento de la madera en la fábrica de muebles de Barranquilla, es que no todos los modelos de los equipos son utilizados para procesar el mismo tipo de madera, dado que algunos están destinados a procesar solo pino, otros, roble y unos pocos a procesar trípex. Esto se realiza con el propósito de no afectar los cortes de las piezas de madera, debido a que cada madera genera una resistencia diferente a las cuchillas o sierras, lo que afecta su corte. Por tal motivo en algunos equipos solo se encontraron residuos de una especie de madera o a lo sumo dos, estas diferencias se pueden observar en las texturas, formas o cortes de los diferentes residuos. La Tabla 11 muestra la cantidad de residuos generados por tipo de máquina. Además, se estimó el tiempo de funcionamiento de las máquinas durante el muestreo, que fue entre 10 y 12 horas diarias, el total de horas se colocó como 10 horas por seis días a la semana, para un total de 60 horas en promedio

Tabla 11. Total de residuos sólidos generados por máquinas (en kilogramos)

Equipos	Residuos generados (Kg)	Porcentaje de residuo generado	Residuos generados (Kg)	Cantidad generada por unidad de tiempo, kg/d
Sierra de banda	3360,58	30 %	3360,58	56,01
Ingleateadora	513,9	4,5 %	513,9	8,57
Sierra circular hiladora	2804,5	24,6 %	2804,5	46,74
Escuadradora	61,3	0,5 %	61,3	1,02
Canteadora múltiple	247,3	2,2 %	247,3	4,12
Sierra de banco	649,4	5,7 %	649,4	10,82
Taladro múltiple	21	0,2 %	21	0,35
Espigadora	122,2	1,1 %	122,2	2,04

Doble cara cepilladora	2034,94	17,9 %	2034,94	33,92
Trompo o Tupi de madera	154,4	1,4 %	154,4	2,57
Moldurera de cuatro cuchillas	433,3	3,8 %	433,3	7,22
Tronzadoras	939,5	8,2 %	939,5	15,66
Escopleadora	30,7	0,3 %	30,7	0,51
Canteadora	16,5	0,1 %	16,5	0,28
Total	11389,52	100,0 %	11389,52	189,83

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del estudio de cantidad de residuo producido por máquina. (2021)

4.3. Propiedades físicas

Se midieron también la densidad, la humedad y la granulometría de los residuos para ver su aplicación en el desarrollo de nuevos materiales tales como paneles, briquetas y composites, entre otros.

4.3.1 Humedad

La humedad se concibe como una propiedad de la madera natural y para el caso de la fábrica de muebles de Barranquilla, esta madera se recibe con un contenido de humedad de alrededor del 90 %; sin embargo, en algunas ocasiones, dependiendo del proveedor, estos guardan la madera por un periodo de tiempo, y cuando llega al horno, se puede llegar con una humedad del 70 %. En los hornos de secado, la humedad de la madera se reduce hasta un valor entre el 12 % y 16 %, valor guía que utiliza la empresa Jamar para la fabricación de muebles. Con relación a los residuos de madera, los valores obtenidos fueron muy bajos, todas las muestras dieron por debajo del 1 % de humedad, esto asociado quizás al tamaño de partícula, que haya facilitado la pérdida de agua en el proceso de elaboración del mueble, además del proceso de almacenamiento en los casos donde se tenía sistema de extracción del polvo en las máquinas. Otras publicaciones han reportado humedades de alrededor de 8 % a 12 % (Lehtikangas, 2001), por otro lado, Ajimotokan *et al*, 2019, reporta humedades de 6,8 % para aserrín de pino y Nurian Serret-Guasch, *et al.*, en 2016, evidenciaron, caracterizaciones de humedad promedio para las tres biomásas de 8,5442 % para algarrobo, 7,8321 % para majagua y 9,7328 % para cedro, por lo que este bajo contenido de humedad sería muy recomendable para usos energéticos.

4.3.2 Determinación de la densidad aparente

Martínez Fernández (2014) menciona una escala de densidad para pino Caribe de los ingenieros R. García y J. García, aplicable a maderas secas (con un contenido de humedad de aproximadamente el 15 %), muy livianas: hasta 350 Kg/m³; livianas: de 351 Kg/m³ a 550 Kg/m³; semipesadas: de 551 Kg/m³ a 750 Kg/m³; y pesadas: de 751 Kg/m³ a 1000 Kg/m³, muy pesadas: de más de 1000 Kg/m³, por lo que las maderas tratadas acá, serían muy livianas, según esta clasificación, al tener valores entre 160 Kg/m³ y 585 Kg/m³ de densidad, se tendrían maderas livianas y muy livianas, donde en la mayoría para el caso del roble las densidades oscilan entre 93 Kg/m³ y 721 Kg/m³, presumiendo que probablemente los valores más bajos corresponden a una mezcla de residuos, y el triplex que es el más liviano está en el rango entre 135 Kg/m³ y 160 Kg/m³. También es probable que las bajas densidades de estos residuos quizás estén asociados a los bajos contenidos de humedad de las muestras. La Tabla 12 muestra los valores máximos y mínimos de las densidades.

Tabla 12. Valores máximos y mínimos de las densidades de los residuos

Tipo Valor (Kg/m ³)	Mínimo	Máximo	Promedio
Roble	93,464	721,31	333,52
Pino	160,21	585,95	287,89
Triplex	135,14	160,1	147,62
Total	93,464	721,31	307,82

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del estudio de densidad aparente. (2021)

4.3.3 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico presentado considera el porcentaje retenido acumulado para el tamaño de 1 mm y de 0,5 mm, así que la comparación se realiza con base en esos tamaños. De acuerdo con la Tabla 12, las muestras que tienen un 50 % de la muestra mayor a 1 mm son los trompos (M6, M5) la cepilladora M22, las canteadoras (M25, M26) y la sierra de banda (M20) y las muestras que tienen al menos un 70 % de su tamaño por encima de 0,5 mm son trompos (M5, M6), taladro múltiple (M12), cepilladora (M22), canteadora (M25, M26), espigadora (M15), ingleteadora (M24), sierra circular M23, sierra sin fin (M10) y sierra de banda (M20), es decir casi la mitad de las máquinas. Serret Guasch *et al*, en 2016, presentaron un valor de 23 % para un tamaño promedio de 1 mm para madera de pino. Por otro lado, Lehtikangas *et al.*, en un estudio en 2001, muestran aserrines

con tamaños menores a 1 mm, en el intervalo entre 43 % y 64 %. Bergström *et al.*, en el 2008, estudiaron el efecto del tamaño de partícula sobre la fabricación de pellets y en la investigación caracterizaron aserrín de pino Scots donde casi el 40% estaba en un tamaño entre 0,5 mm y 1 mm.

5. CONCLUSIONES

En términos generales del proceso de caracterización en la fábrica de muebles de Barranquilla, se puede concluir que, de las 11,4 toneladas de residuos analizadas el 40% de estos corresponde a trozos de madera de roble y 23 % de viruta de roble, en el mismo sentido, los equipos que generan en mayor cantidad estos residuos son la sierra de banda, sierra circular hiladora y la cepilladora doble cara con un 71 % del total. Los residuos de viruta y aserrín constituyen el 48,6% de los residuos, y los trozos cortos y largos el 51,4 % restante, es decir, de los residuos generados la mitad corresponde a viruta y aserrín y la otra mitad son trozos cortos y largos.

En este orden de ideas, se debe optimizar el almacenamiento de los residuos generados por los equipos de sierra, dado que los recipientes actualmente utilizados, son tanques metálicos con poca capacidad para el volumen generado, obligando al operario a detener el equipo para buscar otro reemplazo vacío afectando la producción, Además de lo anterior, hay que mencionar que no todos los equipos de esta categoría tienen un recipiente de almacenamiento, lo cual genera aglomeraciones alrededor. Por otro lado, el volumen de residuo que se está dejando de recuperar es muy alto, a pesar de que se están adelantando procesos de elaboración de tableros recuperados con algunos residuos sólidos, generando así oportunidades en la creación de propuestas que permitan recuperar un porcentaje del total.

De ahí la importancia de estudiar la posibilidad de crear nuevos diseños de muebles que puedan generar menor cantidad de desperdicios, ajustándose en lo posible a los tamaños de la materia prima, dado que hay un 43,2 % de trozos de madera pequeños y 8 % de trozos largos resultantes que se constituyen aproximadamente en el 50 % de los residuos generados. Así mismo es posible analizar la posibilidad de fabricar briquetas o pellets de madera dado que es un proceso simple y no requiere altas inversiones.

En lo concerniente a las propiedades analizadas se puede inferir que, las condiciones de humedad son bajas (menores al 1 %) lo que favorece aplicaciones de

tipo térmico; por otro lado, las densidades de los residuos se encuentran en un rango muy amplio entre 95 kg/m³ hasta 750 kg/m³, siendo el material más liviano el tríples. Con relación al análisis granulométrico se encontraron tamaños entre 0,7 mm y 1,7 mm, en los diferentes materiales y hubo mucha variabilidad entre las diferentes máquinas y los diferentes tipos de madera procesada, para los tamaños de 1 mm el promedio de 28 % en un porcentaje entre 1 y 60 % y para 0,5 mm vario entre 11 % y 83 % con un promedio entre 60 %.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adegoke, K.A, Adesina, O. O., Okon-Akan O. A., Adegoke, O. R., Olabintan, A. B., Ajala, O. A., Olagoke, H., Maxakato, N. W., Bello, O. S. (2022). Sawdust-biomass based materials for sequestration of organic and inorganic pollutants and potential for engineering applications. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, (5), 100274.
- Ajimotokan, H. A., Ehindero, A. O., Ajao, K. S., Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., & Shuaib-Babata, Y. L. (2019). Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Scientific African*, 6, e00202.
- Amos, C. (2011). Monitoreo y caracterización de los desechos sólidos de índole no peligrosos generados en la facultad de ciencias Forestales y Ambientales en Mérida. Venezuela. Misredes. https://issuu.com/misredesweb/docs/art_culo1.caracterizaci_n.fcfa.ula.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2008). Guía para el majeo integral de residuos sólidos. Alcaldía de Sabaneta. https://www.sabaneta.gov.co/files/doc_varios/Gu%C3%ADa%20para%20el%20Manejo%20Integral%20de%20Residuos%20Subsector%20de%20calzado,%20cuero,%20plastic%20y%20sus%20manufacturas.pdf
- Arenhart, F., Bohrz, S. (2013). Effect of chemical and physical foaming additives on the properties of PP/wood flour composites. *Polymer Testing*. (32), 640-646.
- Banjo. O.D., Akinyemi, A. (2019) Case Studies Formaldehyde free particleboards from wood chip wastes using glutaraldehyde modified cassava starch as binder. *Construction Materials*, (11), e00233.
- Bennack, V., Dalla, V., Valadares, M. (2016) Analysis of Technical Suitability of Using Wood Ash in Cement Based Materials. *Foro de ciencia de materiales*. Brazil.

- Bergström D., Israelsson S., Öhman, M., Dahlqvist, S.A, Gref, R., Boman Ch., Wästerlun I. (2008) Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets *Fuel Processing Technology* (89) 1324-1329.
- Chavooshi, A., Madhoushi, M. (2013). Mechanical and physical properties of aluminum powder/MDF dust/ polypropylene composites. *Construction and Building Materials*. (44), 214-220.
- Chowdhury, S., Mishra, M., Suganya, O. (2015). The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. *Ain Shams Engineering Journal*. 6 (2), 429-437.
- Confemadera. (22 de octubre de 2009). Soluciones medioambientales en carpintería y mueble. *Interempresas.net*. Recuperado 31 de mayo 2021 de <http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/34939-Soluciones-medioambientales-encarpinteria-y-mueble.html>
- Decreto 838 de 2005 [con fuerza de ley]. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Marzo 23 de 2005. D.O. No. 45862
- Demirkir, C., Colak, S., Aydin, I. (2012). Some technological properties of wood-styrofoam composite panels. *Compuestos Parte B: Ingeniería* (55), 1-2.
- Đerčan, B., Bubalo Živković, M., Gatarić, D., Lukić, T., Dragin, A., Kalenjuk Pivarski, B., Lutovac, M., Kuzman, B., Puškarić, A., Banjac, M., Grubor, B., & Simović, O. (2021). Experienced Well-Being in the Rural Areas of the Srem Region (Serbia): Perceptions of the Local Community. *Sustainability*, 14(1), 248. <https://doi.org/10.3390/su14010248>
- Ecured. (2016). Enciclopedia cubana: EcuRed. EcuRed: enciclopedia cubana. Recuperado 31 de mayo de 2021 de <https://www.ecured.cu/Viruta> CARACTERIZACIÓN RESIDUOS MADERA 24.
- Eshun, J., Potting, J., Leemans, R. (2012). Wood waste minimization in the timber sector of Ghana: a systems approach to reduce environmental impact. *Journal of Cleaner Production*. (26), 67-78.
- Faria, G., Chastre, C., Lúcio, V., Nunes, A. (2013). Compression behaviour of short columns made from cement-bonded particle board. *Construction and Building Materials*. (40), 60-69.
- Gravelsins, R., Trass, O. (2013). Analysis of grinding of pelletized wood waste with the Szego Mill. *Powder Technology*, (245), 189-198.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Hyung, M., Byul, H (2014). Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems. *Journal of Cleaner Production*. (69), 199-207.
- Intertek. Absorción de agua ASTM D570. URL <https://www.intertek.com/polymers/testlopedia/water-absorption-astm-d570/>.
- Karyn de Carvalho Araujo, C.K., Salvador, R., Moro Piekarski, C., Sokuski, C.C., De Francisco, A.C., Araujo Camargo, S.K. (2019). Review Circular Economy practices on Wood Panels: A bibliographic analysis. *Sustainability*. (11), 1057.
- Kordkheili, H., Farsi, M., Rezazadeh Z. (2013). Physical, mechanical, and morphological properties of polymer composites manufactured from carbon nanotubes and wood floor. *Composites Part B: Engineering*. 44 (1), 750-755.
- Lakrafli, H., Tahiri, S., Albizane, A., Bouhria, M., Otmani, M. (2013). Experimental study of thermal conductivity of leather and carpentry wastes. *Construction and Building Materials*, (48), 1-2.
- Lehtikangas, P. (2001), Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark, *Biomass and Bioenergy* (20) 351-360.
- Lesme, R y Oliva, L. (2010). Potencial energético de los residuos de la industria de la madera en el aserrío "El Brujo" de la empresa Gran Piedra Baconao, para la generación de energía eléctrica a partir de un grupo gasificador-motor de combustión interna-generator eléctrico. [Archivo PDF]. *Revista tecnología química: Universidad del Oriente*. <https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/969>
- Maharani, R., Yutaka, T., Yajima, T., & Minoru, T. (2010). Scrutiny on physical properties of sawdust from tropical commercial wood species: Effects of different mills and sawdust's particle size. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 7(1), 20-32
- Martínez Fernández. J. (2014). Caracterización físico-mecánica del Pino Caribaea de la región central de Cuba. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Civil. Disponible en <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6333/Tesis%20Final%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martinez, Y., Paez, J., Gustave, D. (2020). Production of wood-plastic composites using cedrela odorata sawdust waste and recycled thermoplastics mixture from post-consumer products - A sustainable approach for cleaner production in Cuba. *Journal of Cleaner Production*. (244), 2-9.

- Mitchual, S., Frimpong-Mensah, K., Darkwa, N. (2013). Effect of species, particle size and compacting pressure on relaxed density and compressive strength of fuel briquettes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. (4), 1-2.
- Mohebbi, Behbood y Younesi-Kordkheili (2009). Water and Moisture Absorption and Thickness Swelling Behavior in Polypropylene/Wood Flour/Glass Fiber Hybrid Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* -. (29), 830-839.
- Najafi, S. et al. (2013). Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review. *Waste Management*. 33(9), 1898-1905.
- Pirayesh, H., Moradpour, P., Sepahvand, S., (2015). Engineering in Agriculture, Environment and Food, Particleboard from wood particles and sycamore leaves: Physico-mechanical properties, (1), 38-43.
- Pitt, K., Botello Lopez, O., Lafferty, A., Todd, L., Mumtaz, K. (2017). Investigation into the material properties of wooden composite structures with in-situ fibre reinforcement using additive manufacturing. *Composites Science and Technology*. (138), 32-39.
- Riski, K., Stenlund, L., Seppä, J., Pudas, M., Vähäsöyrinki, M., Tuhkanen, V., & Röning, J. (2010). Traceable characterization of a bending millimetre scale cantilever for nanoforce sensing. *Measurement Science and Technology*, 21(7), 075102.
- Serret-Guasch, N., Giralt-Ortega G., Quintero-Ríos M. (2016) Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *RTQ 36(3) Santiago de Cuba*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script= Tecnología Química sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012
- Shahidul, MI., Malcolm, M., SJ Hashmi, M., HALhaji, M. (2018) Waste Resources Recycling in Achieving Economic and Environmental Sustainability: Review on Wood Waste Industry in Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.
- Spear, J., Eder A., Carus M. Carus. (2015). Wood polymer composites. En: *Fibres and fillers [En línea]. Wood composites.. [Consultado 10 de noviembre de 2020]. Capítulo 10. 196 p.*
- Sudar, A., Burgstaller, C., Renner, K (2014). Wood fiber reinforced multicomponent, multiphase PP composites: Structure, properties, failure mechanism. *Composites Science and Technology*. (103), 106-112.
- Taoukil, D., El Bouardi, A., Enfermo, F., Mimet, A., Ezbakhe, H., Ajzoul, T (2013). Moisture content influence on the thermal conductivity and diffusivity of wood-concrete composite. *Construction and Building Materials*, (48), 104-115.
- Trinidad, L, Chalaco, L., Vega, Y., Rendón, C., y Tobón, S. (2019). Aprovechamiento de residuos madereros: cuantificación, caracterización y valorización. Fondo editorial

Remington. <https://www.uniremington.edu.co/wp-content/uploads/libros-de-investigación/aprovechamiento-de-residuos-madereros.pdf>.

Vítěz T., Trávníček P., (2010). Particle size distribution of sawdust and wood shavings mixtures. *Res. Agr. Eng.*, (56) 154–158.

Zambrano, L., Moreno, P., Muñoz, F., Durán, J., Garay, D., & Valero, S. (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus patula*. *Madera y bosques*, 19(3), 65-80.

CAPÍTULO III

UNA MIRADA A LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

*Ana Karina Palacio-Flórez¹; Adriana Cáceres-Martelo²; Enrique Melamed-Varela³;
Hernán Saumet-España⁴*

RESUMEN

El objetivo del capítulo es presentar una revisión teórica de patentes afines con los avances en el desarrollo de productos de la industria de muebles de madera en diferentes países, relacionados con la optimización de los residuos sólidos de madera producto de la fabricación de mobiliarios, para lo cual se realizó un estudio de vigilancia tecnológica orientada a identificar alternativas para el desarrollo de materiales compuestos, en aras de obtener una visión amplia de la evolución que se ha presentado durante los últimos años y que es el reflejo de los avances encontrados en el sector de la Industria de muebles de madera. Se establece el estado actual y posibles soluciones tecnológicas con miras a elaborar y evaluar materiales compuestos a partir de los residuos sólidos con propiedades semejantes a las partes estructurales en madera como: láminas, tablonos o paneles empleados en la elaboración de partes para mobiliario de madera a fin de integrarlos al desarrollo de productos.

Palabras clave: aglomerantes; material compuesto; materia prima; paneles; tablonos.

ABSTRACT

The chapter presents a theoretical review of patents related to the advances in the development of products of the wood furniture industry in different countries, related to the optimization of solid wood waste from the manufacture of furniture, for which a technology watch study was conducted to identify alternatives for the development of composite materials, In order to obtain a broad vision of the evolution that has taken place during the last years and that is the reflection of the advances found in the wood furniture industry sector. The current status and possible technological solutions are established in order to elaborate and evaluate composite materials from solid wastes with properties

- 1 Administradora de Empresas. Joven Investigador e Innovador, Minciencias. Universidad Simón Bolívar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6117-220X>. Correo electrónico: annpalaciof@gmail.com
- 2 Magister en Administración y Negocios - MBA, Contadora Pública, Investigadora Junior categorizada por Minciencias, Docente investigadora Universidad Sergio Arboleda, Barranquilla (Colombia); Coinvestigadora del proyecto Universidad del Atlántico, Barranquilla (Atlántico). ORCID: orcid.org/0000-0001-5047-4261. Correo electrónico: adriana.caceres@usa.edu.co.
- 3 Magister en Administración e Innovación. Administrador de Empresas. Investigador Junior. Profesor de la Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7519-4450>. Correo electrónico: emelamed@unisimonbolivar.edu.co
- 4 Investigador emérito. Reconocido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias). Investigador adscrito al grupo de investigación economía de la educación de la Universidad del Atlántico., Barranquilla Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4586-7121>. Correo electrónico: hsaumett@gmail.com

similar to wood structural parts such as: sheets, planks or panels used in the elaboration of parts for wooden furniture in order to integrate them to the development of products.

Keywords: binders; composite material; raw material; panels; planks.

1. INTRODUCCIÓN

Las fábricas de muebles de madera enfrentan grandes desafíos frente a los cambios frecuentes presentados en los mercados, en función del entorno donde se desenvuelven. Estas empresas deben desarrollar estrategias de sostenibilidad con el fin de dar respuesta a dichos cambios para abordar sus problemas económicos, sociales y ambientales.

Cabe resaltar que, se destacan problemas relacionados con el manejo inadecuado de residuos generados por la madera durante el proceso de producción, específicamente, se realiza una disposición indebida de estos, no se miden los volúmenes generados, hay falencias en la caracterización de residuos, estos se desaprovechan sin ser integrados nuevamente a la cadena productiva, no existe tecnología o la existente no es apta para tratar los problemas de residuos; sumado a esto, muchos de los residuos van al ambiente convirtiéndose en foco de contaminación para los entornos laborales, entendiéndose estos como el espacio físico donde se da el proceso de producción de muebles, así como para el ambiente fuera del entorno laboral.

En Colombia, según la encuesta Anual Manufacturera publicada por el Dane, para el 2018, en los últimos cinco años, el sector de transformación de la madera y muebles ha mantenido su participación en el PIB nacional, alcanzando un valor de 3.37 billones en el 2018, el cual representa un 0,39 % del PIB nacional. Según Marín (2017) la dinámica de muebles de madera es impulsada por el sector de la construcción, particularmente, en ciudades como Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, que representa un 40 % de la producción nacional.

La dinámica del sector de los muebles no solo es local; en el 2018, la industria de muebles y madera exportó 112,8 millones de dólares, lo que corresponde a un incremento del 14,1 % con respecto al año anterior; siendo los muebles los productos con mayor participación en el comercio exterior, sumando 66,7 millones de dólares, es decir el 59 % del total exportado (Marín, 2019). Según un estudio realizado por Grand View Research (2018) el tamaño del mercado global de muebles se valoró en 480,7 billones de dólares en 2017 y se estima en 718,3 billones de dólares para el 2025.

La producción y comercialización de muebles en Colombia constituyen una parte muy importante en la economía; sin embargo, su industrialización es lenta por lo cual gana terreno la informalidad, a su vez no hay mucha tecnología de punta que optimice los procesos y asegure altos estándares de calidad (Revista Dinero, 2017). Adicionalmente, este sector genera residuos y emisiones que impactan significativamente en el ambiente (Ramírez, 2015).

Con relación al desaprovechamiento de los residuos de madera, según un estudio de mercado realizado en Austria, se encontró que las razones por las cuales las fábricas de madera, en especial, las pequeñas y medianas empresas (pyme) no aprovechan los residuos sólidos generados y están asociadas a la percepción de un bajo beneficio por la gestión, falta de conciencia, desconocimiento o pocas instrucciones sobre cómo aprovechar los residuos (Daian y Ozarska, 2009). Ese mismo estudio reveló que los residuos de madera en la industria de muebles oscilaron entre el 7 % y hasta un 50 %, del suministro anual de materia prima de la madera. De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE en la Encuesta Ambiental Industrial-EAI, la industria colombiana realizó una inversión estimada para la mitigación, reducción y gestión de contaminantes en el aire, correspondiente al 57,1 % del total del monto destinado por el sector enfocados hacia la protección ambiental para el año 2016, seguido por una inversión del manejo de aguas residuales del 32,7 % y la gestión de residuos sólidos por 3,9 %. En el caso de la industria de madera y muebles, por grupo de divisiones industriales en Colombia, el sector, solo participó con un 3.6 % de la totalidad estimada. Lo anterior evidencia la poca inversión de las empresas del sector madera y muebles en mitigación de contaminantes producidos por sus procesos industriales, ocasionando un bajo aprovechamiento de los residuos sólidos.

De acuerdo con informes del Clúster de Muebles en el departamento del Atlántico, el porcentaje de desperdicios generados por las empresas de este sector alcanza un 30 % de la producción total, correspondientes a 260 sacos de residuos por día y 26 tanques de gran tamaño por semana, los cuales no son aprovechados por parte de los industriales. En algunos casos, estas materias son recolectadas para la producción de abono orgánico, la producción de carbón y masillas para el pegado de muebles en el proceso industrial, sin embargo, estos no producen mayores beneficios para los dueños de las empresas. Por lo anterior, el presente capítulo proporciona una revisión de métodos y/o procedimientos orientados al

aprovechamiento de residuos sólidos de madera generados por las fábricas de muebles para el desarrollo de materiales compuestos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación, se presentan definiciones y tipos de residuos sólidos de madera, especialmente los residuos de madera generados por una fábrica de muebles de Barranquilla ubicada en el Departamento del Atlántico, Colombia. Igualmente, presenta algunos usos que se dan a los residuos sólidos de madera.

2.1. Residuos sólidos de madera

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (s.f.) los aserraderos conciben a los residuos de madera como un “subproducto engorroso de la operación de aserrío con su consiguiente eliminación para relleno de terrenos o incinerándolos”. Así mismo, los residuos de madera suelen emplearse en algunos países del mundo como leña para chimeneas o generación de energía, es decir, producción de Biogás. Sin embargo, se destaca que el desperdicio de estos residuos sigue en crecimiento, por lo cual diversos países como China, Estados Unidos y Alemania adelantan acciones en pro de aprovechar dichos residuos para la producción no solo de energía sino de nuevos materiales.

2.2. Tipos de residuos sólidos de madera

Los residuos sólidos de madera, provienen de actividades relacionadas con la extracción y recolección de madera en los bosques y que son empleados principalmente con fines económicos. Igualmente, estos residuos provienen a su vez de los procesos de fabricación de muebles, tableros, sillas, paneles, entre otros artículos madereros producidos por las fábricas de muebles. Teniendo en cuenta lo anterior, existen cuatro fuentes de producción de residuos de madera, tal y como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 13. Fuentes y tipos de residuos sólidos de madera

Fuente	Tipo de residuos
Operaciones forestales	Ramas, Agujas, Hojas, Tocones, Raíces, Madera podrida, Aserrín y Recortes.
Aserrío	Corteza, Aserrín, Recortes, Madera Partida, Virutas, Lijaduras.

Producción de tableros contrachapados	Cortezas, Almas, Aserrín, Recortes, Residuo de chapas, Recortes de paneles, Lijaduras.
Producción de tableros de partículas	Cortezas, Recortes de paneles, Aserrín, Lijaduras.

Fuente: Tomado de FAO (1991)

Ahora bien, en la caracterización de los residuos generados de la actividad maderera en la fábrica de muebles de Barranquilla, se obtuvieron los siguientes: aserrín, viruta y trozo de madera. A continuación, en la Tabla 14 se establecen las definiciones para cada uno de ellos:

Tabla 14. Definición de los residuos generados en la fábrica de muebles de Barranquilla

Tipo de residuo	Definición
 <p>Trozos de madera</p>	<p>Parte o porción de una madera, estos pueden ser largos o cortos, de pino, roble o triplex.</p>
 <p>Aserrín</p>	<p>Conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando esta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados (Reyes, 2013).</p> <p>Conjunto de partículas finas obtenidas del proceso de aserrado y dimensionado de la madera (López, Vega, Rendón y Tobón, 2019, (29).</p>
 <p>Viruta</p>	<p>Tiras delgadas y enrolladas en forma de espiral, extraídas mediante un cepillo u otras herramientas, como brocas, al realizar trabajos de cepillado, desbastado o perforación (López, Vega, Rendón y Tobón, 2019, pág. (29).</p>

Fuente: Tomado de Informe de Vigilancia tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos (2021)

2.3. Usos de los residuos sólidos de madera

De acuerdo a Amaya (2015) a nivel mundial la reutilización de residuos de madera se basa principalmente en la producción de tríples y hormigón, los cuales son empleados en el sector de la construcción y embalaje. De la misma forma, asegura que el aserrín se emplea para cubrir pisos de establos en granjas o fincas, como compostaje y para la producción de energía. Para este último se destaca al grupo National Timber Product Stewardship de Australia, quienes afirman que “la energía producida por madera reciclada emite 50 veces menos emisiones de gases de efecto invernadero que la combustión de carbón negro y 30 veces menos que el gas natural, cuando se usa en instalaciones industriales” (Amaya, 2015). Sumado a ello, existen diversos tipos de biomasa que pueden emplearse en la producción de energía, tales como la biomasa natural, residual seca y húmeda, siendo esta última generada en las actividades relacionadas con la agricultura y ganadería, así como con actividades forestales relacionadas directamente con la industria de la madera.

Por otra parte, se destaca que en Colombia existen 4.781 empresas dedicadas a la fabricación de muebles de madera, sin embargo, de estas alrededor de siete de ellas cuentan con 300 a 500 empleados cada una (Amaya 2015), lo cual permite deducir y/o establecer que la industria de muebles de madera en el país está constituida en su mayoría por pequeñas y medianas empresas, en las que prevalece la producción semi industrial o artesanal. De acuerdo a Marín (2019) la producción de muebles de madera en el país ascendió a 1.71 billones con un crecimiento de 0,94 % gracias al acompañamiento del sector construcción que tuvo un gran auge para el año 2017 en Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, con un 40 % de la producción nacional. Cabe destacar que, el sector muebles juega un papel importante en la economía del país; sin embargo, al no existir formalidad en las organizaciones, cada vez es mas común la conformación de pequeñas y medianas empresas dedicadas a la realización o fabricación de muebles con tecnologías y herramientas inadecuadas que no propician la optimización de los procesos y aseguren la calidad de los productos, lo cual a su vez incrementa la producción de residuos sólidos de madera.

Por otra parte, y respecto al uso de los residuos de madera, es importante mencionar que la madera es considerada como un material variable o voluble, es decir, es un material que puede manipularse y ser empleado en diversas actividades, como por ejemplo ser fuente de energía a través de procesos de combustión directa, gasificación, pirólisis rápida y digestión anaeróbica. También puede emplearse

para la producción de biocombustibles, a través de los procesos de fermentación, transesterificación, gasificación combinada con la síntesis de Fischer-Tropsch. Así mismo, se emplea para el desarrollo de productos químicos industriales en pro de la economía sostenible basada en recursos renovables. Igualmente, la madera es empleada en la producción de productos de consumo no alimenticios como pinturas, pegantes, cosméticos, papeles, entre otros. Según Rehman Hakeem, Jawaid y Rashid (2014) el aserrín y el polvo de madera, son residuos de la madera conformados por partículas pequeñas y finas; son ocasionados como subproductos en los aserraderos y se convierten en recurso indispensable para la producción de productos de celulosa como papel, textiles, materiales de construcción, tableros y paneles.

A continuación, se presentan de manera general las aplicaciones de los residuos de madera a nivel mundial:

2.3.1. Elaboración de pulpa para papel

Para la producción de papel se utilizan maderas blandas o coníferas, caracterizadas por su alto contenido de fibras y celulosa. A su vez, el proceso de producción consta de dos etapas, donde la primera corresponde a la conversión de la fibra de material celulósico en pulpa y la segunda, hace referencia a la transformación de la pulpa en papel. La Figura 1 presenta el proceso de elaboración de papel a partir de residuos de madera.

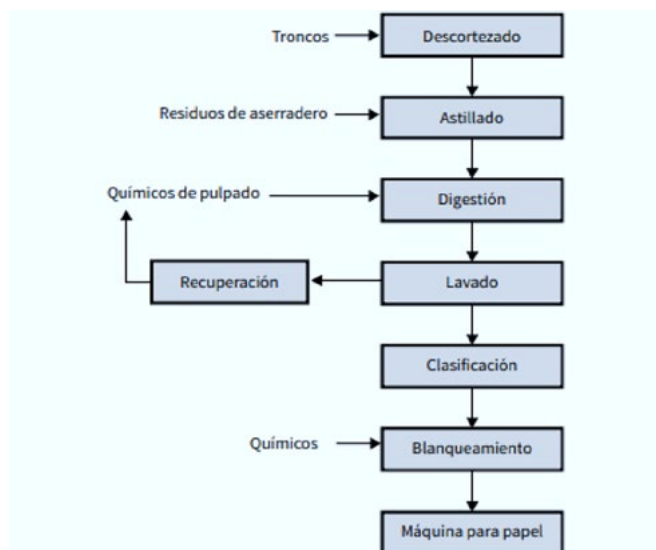


Figura 1. Proceso de elaboración de pulpa y papel a partir de residuos de madera

Fuente: Tomado de López, Vega, Rendón y Tobón (2019)

2.3.2. Obtención de taninos

En la producción de pulpa celulósica, paneles, tableros y muebles la corteza de la madera es separada como un residuo y empleada en la generación de combustible. Sin embargo, dicha corteza está conformada por compuestos químicos que contribuyen a la reutilización de la misma en pro de la recuperación de ácidos resínicos, taninos carotenoides y otros compuestos empleados en sectores como alimentación, cosmetología, medicina y farmacéutica (Aires, Carvalho y Saavedra, 2016).

2.3.3. Tableros a base de madera

De acuerdo a López, Vega, Rendón y Tobón (2019) un tablero o panel no es más que un producto presentado en forma de hojas conformadas principalmente por chapas, partículas y fibras. A ello, se suman Martín, Molina, García y Rodríguez (2004) quienes aseguran que,

Existe una tendencia predominante en muchos países de Latinoamérica a fabricar y usar cada vez más los tableros a base de madera para fines estructurales o decorativos, motivados por el empleo de residuos de otros procesos de manufactura o de recursos de madera que no son adecuados para otros fines.

Los tableros a base de residuos de madera, están conformados por partículas y piezas de diversos tamaños y formas, los cuales se encuentran unidos por adhesivo o pegamento. Se resalta que, para la producción de dichos tableros cada vez más se tiene en cuenta la resistencia a la humedad y la forma de los mismos, dado que los fabricantes de este producto buscan maximizar las propiedades de los mismos, es decir, ofrecer productos reciclados de excelente calidad y a su vez reducir sus costos de producción. A continuación, en la Figura 2. se presentan las formas de los residuos de madera empleados en la producción de tableros.

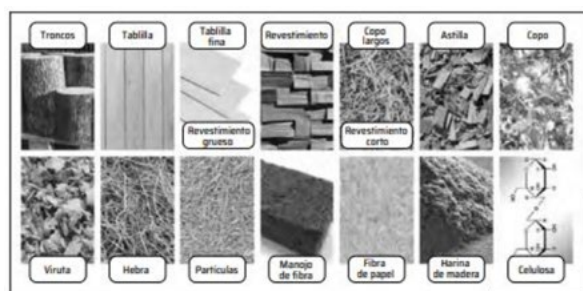


Figura 2. Residuos de madera para la producción de tableros

Fuente: Tomado de López, Vega, Rendón y Tobón (2019)

Igualmente, de acuerdo a Refort (2015) existen diferentes tipos de tableros elaborados a partir de residuos de madera, los cuales se evidencian en la siguiente Tabla 15:

Tabla 15. Tipos de tableros a partir de residuos de madera

Tipo de tablero	Descripción
Tablero de fibras	Medium density fireboard - MDF
	High density fireboard - HDF
	Density fireboard phenolic
	Tableros de fibras aislante
	THDF - HB hardboard
Tableros de partículas	PB - particle board
	Tablero de partículas alveolar y extrusionado
	Tablero de partículas aislantes
	HDP -High density particle board
	Tableros de madera cemento
Tableros de virutas	OSB - Oriented strand board
	WB - Wafer board
	OSL - Oriented strand lumber
	PSL - Parallel strand lumber
Tableros a base de láminas y chapas	Plywood
	LVL - Laminated veneer lumber
Tableros de madera maciza y compuestos	Tableros de listones
	Placa de carpintero
	OBS aislante
	Vigas de materiales compuestos

Fuente: Tomado de Refort (2015)

2.4. Material Compuesto

Como su nombre lo indica, este tipo de materiales poseen las propiedades de dos o más materiales, que combinados proporcionan mejores características a los productos, como durabilidad o rigidez. Se resaltan dos materiales compuestos: compuestos a base de matriz cerámica (CMC) los cuales tienen propiedades de la cerámica como dureza, resistencia y fragilidad, por lo cual al combinarse con fibras de madera el material es más resistente. Suelen emplearse en el mercado de motores térmicos, automotores, construcción y mercado mobiliario (Bensaude y Palucka, 2002; Tualombo, 2015; Anderson, 2014; Handrick, 2013). Los compuestos a base de matriz polimérica (PCM), los cuales se dividen en plásticos reforzados

y compuestos avanzados. Poseen propiedades mecánicas como fuerza y rigidez, estos están conformados principalmente por plástico y fibras de madera.

Por otra parte, de acuerdo a Stupenengo (2011) los materiales compuestos son combinaciones de dos o más materiales que poseen una interfase discreta y reconocible que los separa, de tal forma que este tipo de materiales son heterogéneos, es decir, que sus características no son iguales a los materiales sin haberse combinado. Estos surgen de la necesidad de crear nuevos materiales con características que no se encuentren en materiales cerámicos, plásticos o metales. Un claro ejemplo de material compuesto, corresponde a plástico y madera, los cuales conforman los compuestos madero-plásticos o Wood plastic composites (WPC) y que son propuestos como posible solución al crecimiento desacelerado de residuos sólidos (López y Rojas, 2018). Se destaca que los procesos de obtención para este tipo de material compuesto son muy variados; sin embargo, la extracción y el modelo por inyección son los más utilizados al permitir producir altos volúmenes y con el uso específicamente de polvillo de madera (Tupia, Brañez, Arribasplata y Acosta, 2020). Igualmente, los materiales compuestos tienen sus orígenes en el polietileno reciclado y madera capirona, residuos plásticos mixtos, residuos lignocelulósicos, polipropileno, residuos vegetales y almidón termoplástico.

Igualmente, este tipo de materiales se caracteriza por poseer componentes como la matriz y el refuerzo, los cuales proporcionan a los materiales compuestos las características que los diferencian de otros. Por ejemplo, la matriz define las propiedades físicas y químicas de un material compuesto, así como dar soporte a las fibras que lo componen de tal forma que estas mismas se mantengan en su posición original, transfiere carga a las fibras fuertes, de tal forma, que las protege de daños causados en la fabricación de los mismos o en su uso y evita la aparición de grietas en las fibras del compuesto. Mientras que, el material de refuerzo corresponde a una fase dispersa en la fabricación de materiales compuestos, cuya razón de ser no es más que proporcionar a estos, alguna propiedad que la matriz no posea. El material de refuerzo suelen ser fibras o partículas. Con base en lo anterior, podría decirse que los materiales compuestos no son más que aquellos conformados por varios elementos que al unirse forman un nuevo material con mayores propiedades de composición, acabado superficial, tracción, resistencia, entre otras. Y los paneles, corresponden a tableros que pueden ser empleados en la industria del mueble y construcción para el diseño de nuevos productos con características similares a la madera tradicional o convencional empleada en estos sectores.

2.5. Aglutinantes

De acuerdo a Martínez (2015) los aglutinantes son sustancias que permiten unir fragmentos, partículas o piezas de uno o varios materiales y dar solidez y cohesión a través de métodos físicos, químicos o térmicos. Igualmente, manifiesta que los aglutinantes juegan un papel importante en las industrias aeronáuticas, de construcción y muebles. Por ello, los aglutinantes pueden entenderse como aquella sustancia que permite unir, pegar y juntar, dos o más elementos en contacto y mantenerlos unidos.

2.5.1. Propiedades de los aglutinantes

Los aglutinantes provienen de las resinas fenólicas, almidones de vegetales y arcillas. De acuerdo a Martínez (2015) aglomerantes como las resinas poseen mayor flexibilidad y resistencia que los aglomerantes vitrificados, e igualmente afirma que los aglomerantes provenientes de almidones vegetales permiten mayor cohesión en la compactación de biomasa.

Cabe resaltar que los aglutinantes se dividen en combustibles y no combustibles. Dentro de los aglutinantes combustibles se encuentran las resinas naturales y sintéticas, alquitrán, estiércol, manteca, aguas residuales, papel, algas y almidones. Mientras que en los aglutinantes no combustibles se encuentran el barro, cemento y cal. De la misma forma, los aglutinantes pueden ser orgánicos e inorgánicos. Entre los orgánicos se encuentran albuminatos, alcohol, alquitrán, brea, cola, azúcares, resinas, aserrín, papel, entre otros. Mientras que los aglutinantes inorgánicos corresponden a arcillas, alumbre, cal, cemento y yeso.

3. METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología empleada para la búsqueda de información en bases de datos especializadas y de patentes, para el desarrollo de la vigilancia tecnológica orientada a la identificación de alternativas para el desarrollo de materiales compuestos a partir de residuos sólidos de madera, que ha dado lugar a este capítulo de libro.

3.1. Diseño

El proceso de vigilancia tecnológica orientada a identificar alternativas para el desarrollo de materiales compuestos, se divide en cuatro fases, las cuales hacen

referencia a las estrategias que se desarrollaron para llevar a cabo la investigación (Hernández *et al.*, 2003), tal y como se presenta a continuación:

3.1.1. Fase 1. Establecimiento de parámetros y términos claves para estrategia de búsqueda

Inicialmente se revisó el informe de caracterización y medición de los residuos generados en la fábrica de muebles de Barranquilla, destacando como residuos sólidos de madera el aserrín de roble y de triplex, trozo de madera de pino, roble y viruta de roble, de tal forma que se estableció que los residuos sólidos a aprovechar para el desarrollo de materiales compuestos corresponden a aserrín, viruta y trozo de madera. Igualmente, se logró evidenciar que en la fábrica dichos residuos provienen a su vez de elementos como muebles, tablonos, láminas, tablas, maderos, piezas, vigas, entre otros. Por lo anterior, se determinaron como términos clave de búsqueda para la línea de materiales compuestos los siguientes:

Tabla 16. Matriz de términos clave para materiales compuestos

Español		Inglés		Español		Inglés							
Término General	Sinónimos	General terms	Synonyms	Término específico	Sinónimos	specific terms	Synonyms						
Material compuesto a partir de residuos sólidos de madera Material Prensado	Material Prensado	Composite material from solid wood waste Pressed material Paneles a partir de residuos sólidos de madera Enmaderado	Pressed material	Paneles a partir de residuos sólidos de madera	Enmaderado	Panels from solid wood waste	Timbered						
	Aglomerado chapado		Plated chipboard		Maderaje		Panel						
	Aglomerado		Agglomerate		Panel		Panel						
	Contra-chapado		Laminated wood/ Plywood		Revestimiento de madera		Paneling						
	Aglomerado Orientado (OSB)		Aglomerado Orientado (OSB)	Composite material from solid wood waste Pressed material Paneles a partir de residuos sólidos de madera Enmaderado	Oriented Particle Board	Tablonos a partir de residuos sólidos de madera	Madero	Planks from solid wood waste	Log				
							Tabla		Table				
							Tablero		Board				
							Listón de madera		Wood strip				
						Materia prima	Producto Base	Raw material	Base product				
							Material		Material				
						Aglutinantes	Aglutinantes	Composite material from solid wood waste Pressed material Paneles a partir de residuos sólidos de madera Enmaderado	Oriented Particle Board	Aglutinantes	Aglutinante	Binders	Binder
											Betún		Bitumen
											Cola		Glue
											Gomas		Rubbers
											Resina		Resin
Alquitrán	Tar												

Fuente: Tomado de Informe de Vigilancia tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos (2021)

3.1.2. Fase 2. Diseño y establecimiento de ecuaciones de búsqueda

A partir de la definición de términos clave, fueron diseñadas y establecidas las ecuaciones de búsqueda, las cuales fueron delimitadas por tiempo, comprendiendo los periodos del 01-01-2010 al 24-05-2021. Igualmente, se destaca que con las ecuaciones de búsqueda y la fuente de información se inicia un proceso iterativo para refinar términos claves y perfeccionar las ecuaciones. En este proceso el objetivo es revisar en los documentos obtenidos los términos utilizados para referirse al objeto de búsqueda. Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 17 se presentan las ecuaciones construidas, familia de patentes, base de datos y campo de búsqueda.

Tabla 17. Ecuaciones de Búsqueda

Nº	Ecuación	Familia de patentes	Base de datos	Campos de búsqueda
1	(residuos OR remanente) AND (aserrín OR astillas OR recortes) AND madera en el texto completo AND 2010:2021 como la fecha de publicación	409	LATIPAT	Palabras en texto completo, fecha de publicación
2	CL:("solid waste" OR "wood waste" OR sawdust OR "wood chip" OR "piece of wood") AND DP:([01.01.2010 TO 24.05.2021])	4.827	PatentScope	Claims, Publication Date
3	CL:("wood waste" OR "wood chip" OR sawdust) AND DP:([01.01.2010 TO 24.05.2021])	2.498	PatentScope	Claims, Publication Date
4	CL:("wood waste" OR sawdust OR "wood chip") AND (panels OR planks OR "material") AND DP:([01.01.2010 TO 24.05.2021])	133	PatentScope	Claims, Publication Date
5	CL:("wood waste" OR sawdust OR "wood chip") AND "raw material" AND DP:([01.01.2010 TO 24.05.2021])	74	PatentScope	Claims, Publication Date
6	CL:("wood waste" OR sawdust OR "wood chip") AND (binder OR tar OR glue) AND DP:([01.01.2010 TO 24.05.2021])	334	PatentScope	Claims, Publication Date
7	CL:("wood waste" OR sawdust OR "wood chip") AND "composite material" AND DP:([01.01.2010 TO 24.05.2021])	68	PatentScope	Claims, Publication Date
8	CL:((panel OR board OR timbered) AND ("raw material")) AND DP:([01.01.2010 TO 24.05.2021])	464	PatentScope	Claims, Publication Date
9	CL:("Wood waste" OR " Wood chipboard" OR Sawdust OR "Wood Shavings" OR "Wood cutout" OR "Particle board") OR CL:("Engineered Wood" OR "veneers wood" OR lignocellulosic OR "composite Wood" OR fiberboard) AND CL:(Method OR Process OR technics OR composite OR formulation OR planks OR furniture) AND CL:(manufacturing OR manufacture OR panels OR parts OR "superimposed layers" OR plate OR making) AND CL:(compressed OR producing OR building OR article OR system OR products OR material) AND AD:([01.01.2015 TO 30.04.2021]) AND IC:(B32B OR B27N OR C09)	162	PatentScope	Claims, Publication Date, IC
10	(CL= ["Wood waste"] OR ["Wood chipboard"] OR "Wood reuse" OR "Sawdust" OR "Wood Shavings" OR "veneers wood" OR "Engineered Wood" OR lignocellulosic) AND CL= compressed OR producing OR building OR article OR system OR products OR material NOT formaldehyde NOT plastic NOT metal (CPC=B32B2479 OR B27D) AND (before: priority:20200430 after: priority:20150101) type: PATENT	257	Google Patents	Claims, Publication Date, IC, Type

11	proceso OR método OR tecnología OR producción OR sistema en el título AND panel OR tabla OR plancha OR placa OR tablero OR lignocelulosa OR placa en el título o resumen AND madera OR mueble OR residuos en el texto completo AND 2015:2021 como la fecha de publicación AND B27D OR B27N OR B32B como la clasificación IPC	25	LATIPAT	Título, Resumen, Palabra en el texto, Fecha de publicación, CIP
12	TI (proceso OR método OR tecnología OR producción OR sistema OR panel OR tabla OR plancha OR placa OR tablero OR lignocelulosa OR placa AND madera OR mueble OR residuos) AND FP (desde 01/01/2015 hasta 30/04/2021) AND ICP (B32B21 OR B27D OR B27N) AND TP (solicitud de patente)	2	Superintendencia de Industria y Comercio - SIC	Título, Fecha de publicación, CIP, Tipo de solicitud

Fuente: Tomado de Informe de Vigilancia tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos (2021)

3.1.3. Fase 3. Validación con experto

Una vez realizada la vigilancia tecnológica fue enviada a un experto a fin de validar la información allí contenida y realizar las mejoras sugeridas.

3.1.4. Fase 4. Análisis de la información

De acuerdo a los resultados obtenidos en la fase dos: diseño y establecimiento de ecuaciones de búsqueda, se procedió a analizar, depurar y clasificar la información encontrada en las diferentes bases de datos de patentes consultadas. Respecto al análisis de la información, se procedió a revisar las familias de patentes encontradas, es decir, revisar las patentes por títulos, reivindicaciones y descripciones a fin de determinar aquellas que guardaban relación directa con el objeto de la vigilancia tecnológica. Seguido, se realizó en un documento de Excel una matriz que contiene ecuaciones de búsqueda con sus respectivos resultados asociados al desarrollo de materiales compuestos, es decir, matriz con la información depurada. Dicho documento contiene los nombres de las patentes, enlace, base de datos y fecha de consulta y/o publicación a fin de que los investigadores puedan acceder más adelante a la información consignada en las patentes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para el establecimiento de las diversas tendencias tecnológicas sobre residuos sólidos de madera a nivel mundial, inicialmente fueron identificados los principales residuos de madera producidos por la fabricas de muebles, destacándose el aserrín (aserrín pesado, aserrín volátil), viruta y trozos de madera; así como materiales compuestos tales como: paneles, tablonos, los cuales son empleados como materia prima en ciertos procesos. Teniendo en cuenta lo anterior, se identificaron 9253 familias de patentes, relacionadas con el aprovechamiento de los residuos sólidos de madera para el desarrollo de materiales compuestos.

Igualmente, se identificaron los principales códigos IPC relacionados con el uso de residuos sólidos de madera para el desarrollo de materiales compuestos (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Códigos de clasificación internacional de patentes - IPC

Código IPC	Descripción
B27D	Unión de chapas de madera con cualquier material; Fabricación de objetos a partir de tales uniones (fabricación de objetos por procedimientos en seco a partir de partículas o fibras de madera o de otras materias lignocelulósicas o de sustancias orgánicas análogas B27N); Tratamientos preparatorios de las superficies que se van a unir.
B27K	Procesos, aparato o selección de sustancias para las impregnadora, tinción, tintura o blanqueo de madera, o para tratamiento de madera con permeantes líquidos, no lo contrario para tratamiento químico o físico de corcho, caña, paja o materiales similares.
B27L	Extracción de corteza o vestigios de ramas madera partida; fabricación de chapa, palos de madera, afeitados de madera, fibras de madera o polvo de madera.
B27N	Fabricación de paneles de partículas o de paneles de fibras, que tienen capas de revestimiento preformadas, estando las partículas o las fibras con las capas del panel en una sola operación de prensado.
B32B	Productos estratificados compuestos esencialmente de madera, p. ej. una plancha de madera, una lámina de chapado, una hoja de madera aglomerada. Productos en capas, es decir, productos contruidos de estratos de forma plana o no plana.
CO9J	Productos adhesivos; aspectos no mecánicos de los procedimientos de pegado en general; procedimientos de pegado no previstos en otro lugar; empleo de materiales como adhesivos.
E04C2	Elementos de construcción de forma relativamente delgada para la construcción de partes de edificios, por ejemplo, materiales laminados, losas o paneles.

Fuente: Tomado de Informe de Vigilancia tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos (2021)

Por otra parte, se revisó la evolución cronológica de las patentes relacionadas con el aprovechamiento de residuos de madera, obteniendo como resultados lo evidenciado en el Gráfico 5. Se resalta que, para este caso, se definió la búsqueda entre los años 2010 al 2021.

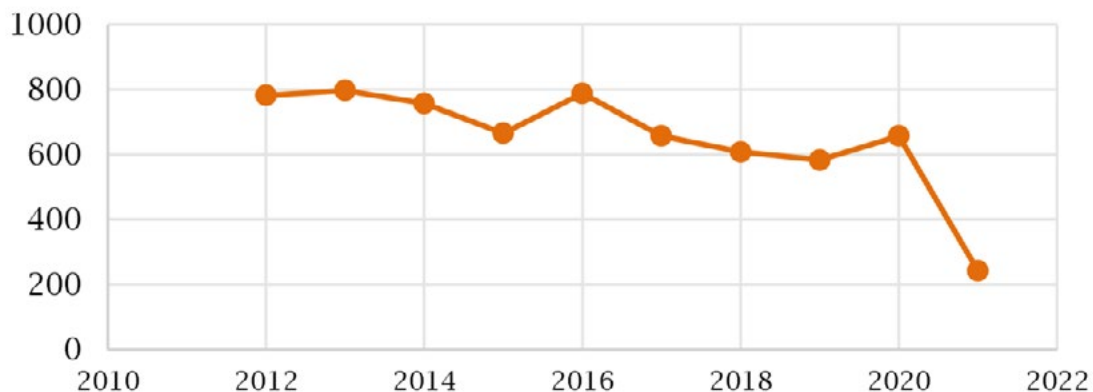
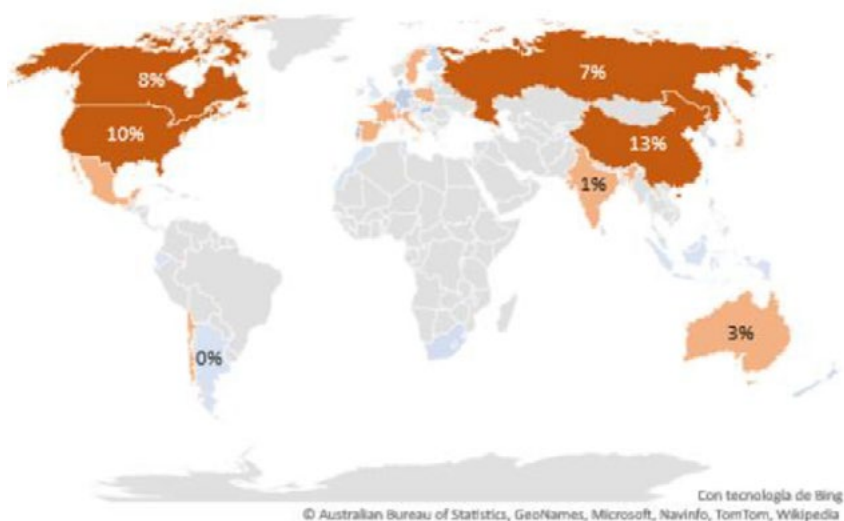


Gráfico 5. Comportamiento anual en la publicación y presentación de solicitudes

Fuente: Tomado de Informe de Vigilancia tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos (2021)

Por otra parte, fueron identificados los países con mayor presentación de solicitud de patentes, permitiendo así reconocer al país líder en solicitudes en pro del aprovechamiento de residuos de madera para el desarrollo de materiales compuestos.



País	Porcentaje de participación
China	13 %
Estados Unidos	10 %
Canadá	8 %

Rusia	7 %
Suecia	7 %
Suiza	4 %
Australia	3 %
Alemania	2 %
India	1 %
Chile y otros países	45 %

Figura 3. Países líderes en solicitud de patentes

Fuente: Tomado de Informe de Vigilancia tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos (2021)

Lo anterior, da cuentas que China es el país con mayor número de solicitud de patentes relacionadas con alternativas para el desarrollo de materiales compuestos a partir de residuos sólidos de madera. Por lo anterior, el siguiente gráfico presenta en valores porcentuales la participación de los continentes en la presentación de solicitud de patentes en las que prevalece el aprovechamiento de residuos sólidos de madera como aserrín, viruta y trozos de madera.

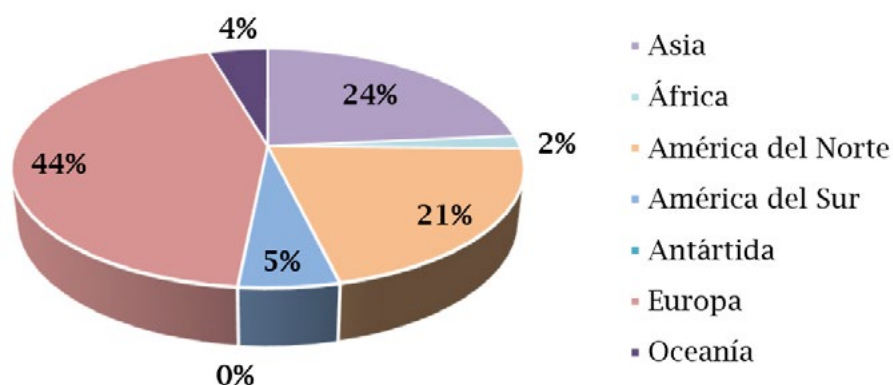


Gráfico 6. Porcentaje de participación por continente en solicitud de patentes

Fuente: Tomado de Informe de Vigilancia tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos (2021)

En el Gráfico 6, se evidencia que Europa corresponde al continente con el mayor número de solicitud de patentes a nivel mundial, seguido de Asia con un 24 % de participación, América del norte con el 21 %, América del sur con el 5 %, Oceanía con el 4 % de participación, África con un 2 % en presentación de solicitud de patentes relacionadas con el aprovechamiento de residuos sólidos de madera. Por

otra parte, de acuerdo a Alma, Kalaycroglu, Bektas y Tutus (2004) la población mundial consume alrededor de 3,5 millones de toneladas anuales de madera, lo cual sumado al crecimiento constante de la población y consumo constante de madera, significaría un incremento en la tasa de desforestación (Zheng, Pan, Jenkins y Blunk, 2006), haciendo necesario el aprovechamiento óptimo de los recursos madereros. Con base en lo anterior, Zambrano, Moreno, Muñoz, Durán, Garay y Valero (2013) proponen el diseño y fabricación de tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *pinus patula*, siendo esta una especie arbórea de las pináceas, utilizado en la producción de piezas interiores de muebles, ebanistería, paneles, y entrepaños. Para la fabricación de dichos tableros Zambrano *et al* (2013), inicialmente determinaron la humedad y densidad de la materia prima, seguido del secado de partículas, determinación del coeficiente de esbeltez y componentes para la fabricación de los mismos. Sumándose a ello, Rangel, Moreno, Trejo y Valero (2017) quienes presentan las propiedades de los tableros fabricados con residuos de madera y que a su vez manifiestan que la determinación de la humedad, densidad, coeficiente de esbeltez y otras características inherentes a la madera, permitirá fabricar tableros a partir de residuos sólidos de madera de buena calidad.

Por su parte, Jiménez, Medina, Pan, Ruiz y Umlandt (2016) proponen el uso de residuos de carpintería en la producción de paneles aglomerados, haciendo uso de virutas de madera como componente principal y cola como adhesivo, compuesta por resina de urea-formaldehído, cloruro de amonio y agua. De la misma forma Morales y Oviedo (2021) proponen la elaboración de paneles para divisiones interiores a base de residuos de cartón y viruta de madera para edificios, evidenciándose de este modo la utilidad de los paneles en el sector de la construcción. Lo anterior, da cuenta de que el uso de residuos sólidos de madera trae consigo ventajas medioambientales como es la reducción del uso de madera verde, recuperación de suelos y acumulación de dióxido de carbono (Asociación Española de Recuperadores de Madera, 2003; Instituto Gallego de Promoción Económica, 2013).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados presentados, se establece que Europa es el continente con mayores desarrollos tecnológicos relacionados con alternativas para el desarrollo de materiales compuestos a partir de residuos sólidos de madera. De acuerdo a Díaz (2020) para el año 2017 la tasa de reciclaje de envases de madera

en Europa ascendió en más del 84 %. Países como Portugal y Bélgica tuvieron una participación entre el 80 % y 90 %, Irlanda, Países Bajos, España e Italia con una participación aproximada al 75 %, mientras que países como Dinamarca, República Checa, Suecia, Eslovaquia, Letonia, Lituania y Polonia con una tasa de reciclaje de envases de madera de hasta el 60 %.

Igualmente, de acuerdo a la Federación Empresarial de Aserradores y Rematantes de Maderas de Galicia - FEARMAGA- (s.f.) en Europa se ha establecido y desarrollado la estrategia Europa 2020, la cual promueve el crecimiento sostenible, inteligente e integrador. Dentro de la estrategia Europa 2020: Estrategia para el crecimiento y la ocupación, se destacan siete iniciativas, de las cuales se resalta la iniciativa cinco que corresponde a una Europa que utilice eficazmente los recursos, la cual describe como transformar la economía de este continente en una economía sostenible para el año 2050. Asimismo, propone formas de aumentar la productividad de los recursos y desvincular el crecimiento económico del uso de recursos y su impacto ambiental. Ilustra cómo las políticas se interrelacionan y se complementan entre sí (Comisión Europea, s.f.). De acuerdo a la Comisión para la Cooperación Ambiental-CCA- (2017) el continente de América del Norte ha liderado iniciativas encaminadas a impulsar el desvío y aprovechamiento de residuos sólidos a nivel residencial como industrial en países como Canadá, Estados Unidos y México, los cuales generan alrededor de 265 millones de toneladas anuales de residuos sólidos, de las que 75 millones son destinadas a actividades de compostaje y digestión anaeróbica, mientras que 190 millones de toneladas de dichos residuos se envían a disposición final, demostrando así que aún en el continente se desperdicia gran cantidad de residuos que podrían ser aprovechables para la fabricación de un nuevo producto. El continente de Oceanía, específicamente Australia, cuenta con un total de 125 millones de hectáreas de bosques y plantaciones y la industria forestal se encuentra en etapa de crecimiento. De acuerdo a España Exportación e Inversiones -ICEX- (2018) los troncos de madera cosechados en el país entre los años 2016 y 2017 alcanzaron los 33,1 millones de m³, de esta proporción, fueron cosechados 5,2 millones de troncos de madera para aserrar y se produjeron 1,7 millones de m³ de paneles de madera y 3,2 millones de toneladas en papel y cartón. Lo anterior, demuestra que en el continente Oceánico la plantación de árboles es cada vez mayor debido al constante crecimiento de la industria maderera, sin embargo, aunque se han plantado grandes cantidades de hectáreas para reponer el recurso empleado, no es suficiente para cubrir la huella ecológica, por lo cual el continente poco a poco ha incursionado en la creación de métodos y procedimientos de utilización de

los residuos sólidos de madera para la producción de nuevos productos y otros usos, como es el caso de la fabricación de paneles/tableros/aglomerados.

Respecto a los materiales compuestos, dentro de las búsquedas sobresalen principalmente los maderos plásticos, los cuales como su nombre lo indican están conformados por material o residuos de madera y plástico (polímeros, termoplásticos), con los cuales pueden elaborarse pasta de madera, estibas, plataformas, pisos y barandas, plataforma para zapatos. Igualmente, se destaca que los materiales compuestos son empleados en su mayoría en el sector de la construcción.

Finalmente, dentro de los aglutinantes o pegantes empleados en los procesos de producción relacionados con la madera se encuentran las resinas amínicas o Úrea-Formaldehído, sin embargo, con el objetivo de incentivar la economía circular en la industria maderera la EPA (2018) estableció restricciones en el uso de este aglomerante y con el propósito de incluir a la cadena productiva de tableros a partir de residuos sólidos de madera el uso de resinas menos tóxicas. Por lo anterior, se resaltan otros aglomerantes encontrados en la búsqueda como la resina epoxi, caracterizada por ser un polímero termoestable y que desaparece en el proceso de secado y endurecimiento y los aglutinantes hidráulicos, los cuales corresponden a sustitutos de la úrea-formaldehído.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aires, A., Carvalho, R., y Saavedra, J. (2016). Valorization of solid wastes from chestnut industry processing: extraction and optimization of polyphenols, tannins and ellagitannins and its potential for adhesives, cosmetic and pharmaceutical industry. *Waste Management.*, vol. 48, pp. 457-464.
- Alma, M., Kalaycroglu, H., Bektas, I., & Tutus, A. (2004). Properties of cotton carpel-based particleboards. *Industrial Crops and Products.* 2:141-149.
- Amaya, C. (2015). Disposición de residuos industriales maderables: Una estrategia empresarial ambiental para convertir costos en inversiones. Trabajo de grado. Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13699/TRABAJO%20DE%20GRA;jsessionid=E75ABE85BE5DE2B-27B88638A2736F087?sequence=2>
- Anderson, I. (2014). Concrete-chip Hormigón de viruta y aserrín”.
- Asociación Española de Recuperadores de Madera. (2003). Recuperación de residuos de madera. VI Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, España. [en línea] <https://www.conama.es/viconama/ct/pdfs/Resumenct94.pdf>

- Bensaude Vicent, B., y Palucka, T. (2002). The Dibner Institute for the history of the science and technology. Composites Overview. [En línea]. Disponible: https://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/materials/public/composites/Composites_Overview.htm
- CCA (2017). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 52 pp. <http://www3.cec.org/islandora/en/item/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>
- Comisión Europea. (s.f.). Eficiencia de recursos, hoja de ruta. https://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/about/roadmap/index_en.htm
- Daian y Ozarska, (2009). Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector *Journal of Cleaner Production* 17, 1594-1602.
- Díaz, A. (2020). Porcentaje de residuos procedentes de envases de madera reciclados en Europa (UE-28+2) en 2017, por país. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1122264/tasa-de-reciclaje-de-envases-de-madera-por-pais-en-europa/>
- Federación Empresarial de Aserradores y Rematantes de Maderas de Galicia. Reducir, reutilizar, reciclar. <http://maderasdegalicia.com/sector-forestal/sostenibilidad/>
- Grand View Research (2018). Furniture Market Size, Share & Trends Analysis Report By Material (Metal, Wood, Plastic, Glass), By End Use (Residential, Commercial), By Region (North America, Europe, APAC, MEA), And Segment Forecasts, 2018-2025.
- Handrick, K. (2013). Ceramic matrix composites (CMC) for demanding aerospace and terrestrial applications. XXI Congress AIV, n.º CMC, p. 46.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista P. (2003). Recolección de los datos. Metodología de la Investigación. 3ª edición. México: Mc Graw Hill; 342-482.
- Instituto Gallego de Promoción Económica. (2013). Gestión de residuos de la madera. [en línea]. http://www.bicgalicia.es/procedimientos/pdf/A-VII-01-a-1_Xesti%C3%B3n_de_residuos_da_madeira.
- Jiménez, P., Medina, J., Pan, E., Ruíz, A., & Umlandt, M. (2016). Uso de residuos de carpintería de las especies *Prosopis alba* y *Pinus sp.* en la elaboración de paneles aglomerados. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 24(1), 26-35. https://www.redalyc.org/jatsRepo/481/48163556007/html/index.html#redalyc_48163556007_ref2

- López, D., y Rojas, A. (2018). Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos maderos plásticos. *Entre ciencia e ingeniería*, 12(23), 93-102. DOI: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3708>
- López, L., Vega, L., Rendón, C., y Tobón, S. (2019). Aprovechamiento de residuos madereros. Cuantificación, caracterización y valorización. Corporación Universitaria Remington, Medellín, Colombia. <https://www.uniremington.edu.co/wp-content/uploads/libros-de-investigacion/aprovechamiento-de-residuos-madereros.pdf>
- Marín, C. (2019). Balance económico: cómo va el sector del mueble y la madera. Recuperado en <https://revistamm.com/economia-sectorial/balance-economico-como-va-el-sector-del-mueble-y-la-madera/>
- Martín, M., Molina, O., García, M., & Rodríguez, L. (2004). Tableros de madera de partículas. *Ing.* 8, vol. 3, pp. 39-46.
- Martínez, A. (2015). Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes. Trabajo de grado. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3256/1/Ana%20Luc%C3%ADa%20Mart%C3%ADnez%20Maldonado.pdf>
- Morales, A., & Oviedo, I. (2021). Elaboración de paneles para divisiones interiores a base de residuos de cartón y viruta de madera para edificios. Trabajo de grado. Universidad Laica. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/4231/1/T-ULVR-3534.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (s.f.). Capítulo 6. Aprovechamiento potencial de los residuos de madera para la producción de energía. <http://www.fao.org/3/T0269S/T0269S10.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (1991). Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales. <http://www.fao.org/3/T0269S/T0269S00.htm>
- Ramírez Hernández, Omar. (2015). Identificación de problemáticas ambientales en Colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 293-310. Recuperado en 18 de enero de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300009&lng=es&tlng=es.
- Rangel, L., Moreno, P., Trejo, S., & Valero, S. (2017). Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de *Eucalyptus urophylla*. *Ciencia y tecnología*, 19(3), 373-386. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v19n3/aop3217.pdf>

- Refort, M. (2015). Clasificación de tableros a base de madera. Universidad Nacional de La Plata, pp. 1-51, 2015.
- Rehman Hakeem, K., Jawaid, M., y Rashid, U. (2014). "Biomass and bioenergy applications", Springer International Publishing.
- Revista Dinero (2017) La informalidad y las importaciones ponen en jaque al sector de muebles Recuperado de <http://www.dinero.com/edicionimpresa/negocios/articulo/principalesretos-del-sector-de-muebles-encolombia/252650>
- Reyes, J. (2013). "Reacción asistida por microondas para la obtención de hidrocarburos a partir de aserrín de madera". Quito.
- Saumett, H.; Estrada-López, H.; Melamed, E.; Palacio, A. (2021). Vigilancia Tecnológica Alternativas para el Desarrollo de Materiales Compuestos. Informe de investigación Proyecto No. 70298 cofinanciado por Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
- Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas. Materiales compuestos. Ministerio de Educación y Instituto Nacional de Educación Tecnológica. <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>
- Tualombo, S.A. (2015). Desarrollo de un material compuesto a partir de fibras naturales para la utilización en viviendas. Departamento de ciencias de la energía y mecánica. Sangolquí.
- Tupia, W., Brañez, L., Arribasplata, A., y Acosta, J. (2020). Metodología experimental para determinar los parámetros del proceso de moldeo por compresión de materiales compuesto de termoplástico reciclado y madera recuperada. *Matéria*, 25(3). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1088>
- Zambrano, L., Moreno, P., Muñoz, F., Durán, J., Garay, D., & Valero, S. (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus Patula*. *Madera y Bosques*, 19(3), 65-80. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v19n3/v19n3a6.pdf>
- Zheng, Y., Pan, R., Jenkins, B., & Blunk, S. (2006). Properties of medium-density particle-board from saline Athel wood. *Industrial Crops and Products*. 23(3):318-326.

CAPÍTULO IV

ECO MUEBLES CON INTEGRACIÓN DE PANELES DE MADERA

*Fanny Fontalvo-Torres¹; Gilberto Carrillo-Alvarado²; Hilda Estrada-López³
Apoyo en Diseño de prototipos Estudiantes de la Escuela de Diseño de la
Universidad Don Bosco – El Salvador*

*Camila Aguilar Henríquez; Pamela Cruz Alvarenga; Kimberly Escobar Martínez;
Ericka López Aquino*

RESUMEN

El capítulo presenta el proceso para la fabricación de productos mobiliarios ecoamigables con la integración de paneles elaborados a base de residuos sólidos de madera. Se utilizó una metodología de "Design for manufacturing and assembly" de Boothroyd - Dewhurst, a través de la cual se recopila información, conocida como datos de entrada y salida con los que se necesita que funcione un sistema o subsistema, para luego realizar cálculos de ingeniería que incluyen dimensiones, materiales, accesorios, ajustes, tolerancias, referencias, etc., que de manera estándar se dejan plasmados en planos de despiece, en planos de subconjunto y en planos de conjunto. Asimismo, se implementó la herramienta CAD para el modelado de los prototipos. Lo anterior permitió el diseño en 3D de tres prototipos que integran piezas elaboradas a base de aserrín y resina epóxica, como insumo para el desarrollo de base para lámparas, base para mesas auxiliares y piezas de butacas.

Palabras clave: ecomuebles, design for manufacturing and assembly, muebles de madera, paneles.

ABSTRACT

The chapter presents the process for the manufacture of eco-friendly furniture products with the integration of panels made from solid wood waste. The Boothroyd - Dewhurst "Design for Manufacturing and Assembly" methodology was used, by means of which the information, known as input and output data with which a system or subsystem must work, is compiled to then perform the engineering calculations that include dimensions, materials, accessories, adjustments, tolerances, references, etc., which in a standard way are reflected in exploded drawings, subassembly drawings and assembly drawings. The CAD tool was also implemented for modeling the prototypes. This allowed the 3D design of three prototypes that integrate sawdust and epoxy resin parts, as input for the development of lamp bases, auxiliary table bases and armchair parts.

- 1 Administradora de Empresas. Joven Investigador e Innovador, Minciencias. Universidad del Atlántico. ORCID: 0000-0003-3100-9422. Correo electrónico: fafys022@gmail.com
- 2 Magíster en Diseño Gestión y Dirección de Proyectos. Investigador de Universidad Don Bosco, San Salvador, El Salvador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9845-1381>. Correo electrónico: gilberto.carrillo@udb.edu.sv
- 3 Investigadora Senior. Doctora en Administración. Magister en Gestión de Organizaciones. Administradora de Empresas. Docente investigador Universidad Simón Bolívar. Docente Universidad del Atlántico, Barranquilla – Colombia. Coordinadora de la Red Iberoamericana RITMMA ORCID: 0000-0001-7439-2658. Correo institucional: hildaestrada@mail.uniatlantico.edu.co

Keywords: eco-furniture, design for manufacturing and assembly, wood furniture, panels.

1. INTRODUCCIÓN

La madera es un recurso empleado en diversos campos de la economía mundial y aunque corresponde a un material biodegradable y de gran abundancia, es necesario analizar algunos factores al momento de optimizar su aprovechamiento, así como el estudio de aspectos económicos, sociales y medioambientales (Lykidis y Grigoriou, 2008), dado que el incremento en el uso de madera para la producción de diversos materiales, productos y energía, ha ocasionado graves lesiones en el medioambiente como es el efecto invernadero, la tala indiscriminada de árboles, sequía, entre otras, las cuales a su vez se han mitigado con el empleo de los residuos sólidos madereros por parte de los fabricantes de muebles de madera y empresas dedicadas al reciclaje de este tipo de residuos. Cabe resaltar que, la reutilización y sustitución de la madera por madera reciclada tiene como objetivo reducir los costos y las externalidades asociadas con la extracción, el transporte y la eliminación (Kim y Song, 2014). A raíz de los procesos de producción, independientemente del sector industrial en el que se desarrollan los productos, se generan residuos de madera que en algunas organizaciones suelen ser desechados y no integrados a la cadena productiva. Estos residuos son concebidos como cortezas, aserrín, astillas, virutas y trozos de madera, los cuales a su vez son empleados en la producción de tableros compuestos, pulpa de madera, materiales para camas de animales, jardinería, mientras que los demás residuos que no son aprovechados en la elaboración de nuevos productos, son desechados en rellenos sanitarios (MERAFA, 2002, Murphy, Smith, y Wiedenbeck, 2007). Se resalta que los desechos generados durante la producción de madera y contrachapados se utilizan en la producción de paneles compuestos, mientras que la corteza se utiliza para generar energía mediante la quema (Hahn, 1982).

Ahora bien, según BNDES (2008) los paneles de madera son estructuras que como su nombre lo indica, están conformados por madera en sus diferentes etapas de desagregación, compactación, temperatura y resinas sintéticas. A su vez, Mirabella, Castellani y Sala (2014) aseguran que estos mismos se han convertido en sustitutos de la madera maciza en la producción de muebles y uso en la industria de la construcción, todo ello a causa de la escasez de materia prima virgen y estrategias de producción de algunos países en vía de desarrollo.

Por otra parte, la FAO (2017) asegura que la producción mundial de tableros de madera ha incrementado en las últimas décadas. Estudiando el periodo comprendido entre 2007-2017, se resalta que entre los años 2008 y 2009 hubo un descenso en la demanda de tableros de madera, sin embargo, para el año 2010 esta se incrementó, comportamiento que se mantuvo hasta el 2017 con una cifra de 420.361.171 m³ de paneles de madera producidos, entre los que se destacan el tablero de fibra de alta densidad (HDF), tableros de fibra de densidad media (MDF) y tableros de fibra orientada (OSB). Considerando lo anterior, la producción de tableros de madera se basa en una producción lineal, de tal forma que se genera gran cantidad de residuos desde la extracción de la materia prima hasta la disposición del producto terminado. A raíz de ello, la economía circular juega un papel importante, puesto que es un modelo económico que posibilita el mejoramiento o cambios en la relación entre sociedad y medioambiente, a fin de preservar los recursos y mantener los materiales y productos en un ciclo, de manera que los desechos generados por estos mismos, puedan ser integrados nuevamente a la cadena productiva y recuperar valor (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Así pues, para el caso de los desechos de madera, estos residuos pueden integrarse al proceso de producción y agregar valor al material compuesto (Branciforti, Marinelli, Kobayashi, Ambrosio, Monteiro y Nobre, 2009) convirtiéndose por ejemplo en paneles de madera al final de su vida útil, aportando así ventajas económicas y mejoramiento del ambiente.

Cabe resaltar que, la incorporación de prácticas circulares en la industria de muebles de madera trae consigo ventajas económicas para las organizaciones de este sector, dado que como lo manifiestan De Carvalho, Salvador, Moro, Sokulski, De Francisco y De Carvalho Araujo (2019), las empresas tienen la obligación de gestionar todos los residuos generados en sus procesos de producción. Así mismo, la inclusión de prácticas circulares les permitiría beneficiarse de la venta de sus residuos a empresas que los empleen como insumos o encontrar formas de reutilizarlos; además de ello, se incrementan las relaciones y redes.

Explicado lo anterior, este capítulo detalla la manera en que se pueden integrar los paneles hechos a base de material compuesto en la fabricación de ecomuebles de madera, teniendo en cuenta que esta es una solución para la problemática que causa la disposición final de los residuos sólidos madereros en el ambiente, ya que estos se pueden aprovechar reintegrándolos al proceso productivo en forma de algunas de las partes que componen el mueble, en lugar de ser desechados y ocasionar contaminación.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación, se aborda la definición de mueble de madera como producto terminado, y partiendo de la elaboración de paneles de madera como alternativa de optimización de residuos sólidos madereros para contribuir al cuidado del medioambiente, se describe el proceso de elaboración de estos, y se presentan casos de muebles fabricados con integración de material compuesto.

2.1. Mueble de madera como producto terminado

Un producto terminado corresponde a un bien que es resultado de un proceso de fabricación, el cual está listo para ser entregado al consumidor final. Por lo anterior, este tipo de producto no requiere de modificaciones o cambios en su estructura, razón por la cual puede ser comercializado sin inconveniente. Con base en lo anterior, puede definirse el mueble de madera como aquel bien que ha pasado por un proceso de producción y que ha culminado todas sus etapas, razón por la cual está listo para ser entregado al consumidor final. En los productos terminados en el sector muebles, de acuerdo a Agüeso (2019) la madera recorre un largo proceso hasta convertirse en el artículo deseado; este proceso se denomina “transformación de la madera”, el cual no es más que el conjunto de actividades que se realizan en pro de convertir la materia prima en un producto terminado. Las actividades de transformación de esta comprenden desde la tala, poda, descortezado, tronzado y secado, hasta el cepillado de la misma. En este caso, para el presente capítulo, se tiene en cuenta un segundo proceso de transformación de la madera o continuación del mismo, ya que los residuos de esta son y serán empleados para fabricar y producir partes que serán integradas a nuevos productos, los cuales deberán pasar por nuevas etapas de transformación hasta convertirse en el mueble deseado.

2.2. Paneles a base de residuos sólidos y su contribución al cuidado del medioambiente

Un panel de madera puede definirse como un producto fabricado a partir de residuos engomados, en otras palabras, un tablero elaborado a base de partículas de madera u otras fibras, mezclado con otros materiales adhesivos, el cual posee características físicas semejantes a las de la madera. (Chávez, 2019). Según la Comisión Nacional Forestal del 21 de abril de 2020, en la actualidad la mayoría de los paneles o tableros son elaborados a partir de materia prima compuesta por residuos sólidos madereros, y por madera proveniente de árboles más

pequeños y de poca durabilidad. El objetivo de emplear paneles es aprovechar los residuos resultantes de la madera ya que estos son elaborados con materiales que las fábricas consideran como desechos, además significan una ventaja ya que los paneles pueden diseñarse para satisfacer necesidades concretas, mediante la integración de diversas sustancias o variación de los procesos térmicos o mecánicos a los que se pueden someter, a fin de obtener partes con características específicas como lo son: resistencia al fuego, a la humedad y al daño ocasionado por pudrición (Gutiérrez, 2020). Ahora bien, el deterioro medioambiental producto de los residuos de madera es evidente hoy día, ya que, pese a que la madera es un recurso natural en su procesamiento se generan cantidades de residuos que contaminan el ambiente y propician deterioro de la salud humana. De acuerdo a la caracterización de residuos realizada en el clúster del mueble CILA, se encontró que “el total de residuos generados referente a una semana es de 11,4 toneladas, representando el 32 % de la madera procesada” (Informe de caracterización de residuos sólidos, 2021).

Por lo anterior, se considera que los tableros o paneles fabricados a base de residuos de madera pueden ser considerados el principal medio para la elaboración de un mobiliario amigable con el medioambiente, ya que al retornar estos residuos al proceso de fabricación del mueble se contribuye a disminuir la contaminación, puesto que el porcentaje de residuos empleados dejarán de ser desechos para convertirse en materia prima de condiciones sustentables y poco contaminantes (González, 2021). De este modo, la conversión de residuos de madera en paneles de material compuesto que pueden reintegrarse al proceso productivo de muebles, puede ser considerada como el tipo de reciclaje al que aluden Holt y Téllez (2016), aquel donde la innovación se hace presente como una alternativa que no solo tiene como objetivo eliminar la basura, sino más bien transformar los considerados desechos como parte del diseño de otro producto, que de acuerdo a sus propiedades y características ofrezca alguna utilidad y confort, y aporte sustentabilidad a través de la acción de reutilización de materiales no biodegradables.

2.3. Proceso de elaboración de paneles a base de residuos sólidos de madera

Ahora bien, tomando como referencia la información recabada de la patente europea No. ES2632426: Paneles a base de madera, método para su fabricación y su uso (2017) y la compañía Zhengzhou Chryso Machinery Co., LTD (s.f), el proceso para elaborar paneles de madera a partir de residuos de la actividad maderera

como materia prima, consta de los siguientes pasos: Selección del material, trituration, medición de humedad, secado, elaboración de diseños experimentales a partir de mínimo dos mezclas de ensayo, resinación o mezclado, diseño y compra de moldes, moldeado, prensado al caliente, secado, pruebas de laboratorio. El anterior proceso se encuentra condensado en el siguiente diagrama de proceso:

Tabla 19. Diagrama de proceso DAP

Diagrama No. 1		Hoja No. 1		Resumen				
Objetivo:				Actividad	Actual	Prop.	Econ.	
Elaboración de paneles a base de residuos de madera				Operación		11		
				Transporte		1		
Actividad:				Espera	D	0		
Elaboración de un panel de madera				Inspección		3		
				Almacena		1		
Método: actual / propuesto				Tiempo				
Lugar:				Costo				
Compuesto por:		Fecha: - / - / -		Mano de obra				
Aprobado por:		Fecha: - / - / -		Material				
				Total		16		
Descripción	d(m)	t(m)	●	→	D	■	▲	Observaciones
Verificar calidad y cantidad de aglutinante.								Inspección
Medir cantidad de aglutinante.								
Verificación y determinación de los materiales a emplear.								Inspección
Trituración de material en máq. Trituradora de madera.								
Medición de humedad con medidor de humedad.								Humedad <10%
Secar material triturado en secador de aserrín.								
Elaboración de dos diseños experimentales								1. Residuo sólido + 15% de la cantidad de residuo en aglutinante.
								2. Residuo sólido + 30% de la cantidad de residuo en aglutinante.
Llevar a mezcladora								Poner en mezcladora
Resinación aglutinante + material seco en mezcladora.								
Diseño y/o compra de moldes								
Llenar molde con la mezcla obtenida								Se toman las dos mezclas y se llenan los moldes con un distintivo.

Prensado en caliente en la máq. de moldeado al caliente							7 – 10 minutos
Secado a una temperatura de 12 a 35°C en horno o cámara de secado de madera							1 – 8 horas
Pruebas de laboratorio para determinar las propiedades del panel y/o parte elaborada						● — ●	Se controlarán la tensión, compresión y flexión, la densidad final y el comportamiento frente al corte y otras operaciones de ensamble
Verificación y almacenamiento de panel de madera terminado						● — ●	Inspección y almacenamiento
Total			11	1	-	3	1

Fuente: Adaptado del protocolo de elaboración de paneles de madera (2022)

2.4. Integración de partes de material compuesto al proceso de fabricación de eco muebles

Partiendo del postulado de González (2016) de que los tableros o paneles fabricados a base de residuos de madera pueden ser considerados el principal medio para la elaboración de un mobiliario amigable con el medioambiente, un ecomueble puede ser un producto diseñado y elaborado con integración de material compuesto, convirtiéndose así en una alternativa de mitigación de la contaminación producida por las miles de toneladas de residuos que son desechadas semanalmente en las fábricas de muebles de madera. Según la revisión documental realizada, existen diversos casos análogos donde se hace uso del material compuesto para la elaboración de partes que se integran al mueble de madera y se convierten en un producto terminado. A continuación, se presentan algunos de ellos.

2.4.1. Kulla Design – 50 % Sawdust (aserrín)

Se trata de un proyecto donde se mezclaron dos tipos de residuos: aserrín y bolsas plásticas, con el objetivo de encontrar nuevas formas de reutilizar estos desechos. De esta investigación y experimentación, resultaron el diseño innovador de un banquillo y una lámpara a partir de estos residuos (Kulla Design, 2010). Tal como lo muestra la Figura 4.



Figura 4. Banquillo y lámpara de Kulla Design hecho a base de aserrín y bolsas plásticas

Fuente: Imagen tomada de los diseños de Kulla Design

2.4.2. Oh Gehon - Silla escultural de resina y de aserrín

El proyecto tuvo como finalidad explorar las posibilidades de materiales descartables, por lo que se utilizó residuos de madera de roble mezclados con resina para elaborar un asiento a partir de bloques (Morby, 2017). La Figura 5 ilustra la silla construida.



Figura 5. Silla escultural de resina y de aserrín

Fuente: Imagen tomada de los diseños de Oh Gehon

2.4.3. Van y Shaw- Asientos hechos de Bio Resina

En la producción de productos de madera se genera de 50 % a 80 % de desechos en forma de viruta, por lo que Van y Shaw incorporaron estos residuos en la parte inferior del armazón de sillas y taburetes de diseño utilizando bio resina (Ver Figura 6).



Figura 6. Asientos hechos de Bio Resina

Fuente: Imagen tomada de los diseños de Van y Shaw

3. METODOLOGÍA

En este apartado se precisa la metodología empleada en el proceso de fabricación de ecomuebles de madera con integración de material compuesto, que ha dado lugar a la escritura de este capítulo, la cual será detallada a continuación.

3.1. Diseño

El desarrollo de la investigación del capítulo, tiene como base el método “Design for manufacturing and assembly” de Boothroyd – Dewhurst el cual es detallado a continuación:

3.1.1. Método “Design for manufacturing and assembly” de Boothroyd – Dewhurst

Para el proceso de fabricación de prototipos se utilizó una metodología de “Design for manufacturing and assembly” de Boothroyd – Dewhurst, en español “diseño, manufactura y ensamble”, es un proceso cuyo objetivo es el rediseño de sistemas desde el punto de vista de la reducción de piezas, el aumento de las eficiencias en los tiempos de manipulación y ensamblaje de los productos. En esta ocasión para

su fácil comprensión se va a detallar por separado cada una de las tres partes que componen este proceso (diseño - design, manufactura - manufacturing, y ensamble - assembly)

3.1.1.1. *Diseño - Design*

El proceso de diseño consiste en la recopilación de información, conocida como datos de entrada y datos de salida con los que se necesita que funcione un sistema o subsistema. Una vez se tiene la información, se procede a realizar los cálculos de ingeniería para dimensionamiento de los subsistemas que conforman el sistema completo, considerando los materiales existentes en el mercado local o por importación. En cada subsistema el resultado de los cálculos incluye dimensiones, materiales, accesorios, ajustes, tolerancias, referencias, etc. etc., que de manera estándar se dejan plasmados en planos de despiece, en planos de subconjunto y en planos de conjunto.

3.1.2. *Manufactura - Manufacturing*

El proceso de manufactura consiste en la fabricación de piezas individuales a partir de materiales existentes en el mercado y con las especificaciones técnicas descritas en los planos realizados en el proceso anterior denominado diseño. Adicionalmente, se adquieren partes disponibles como elementos de sujeción, elementos rodantes, motores, reductores, componentes eléctricos para control y potencia, pinturas, sellantes, según aplique en los diseños.

3.1.3. *Ensamble - Assembly*

En la medida que se va completando la obtención y la construcción de partes, se van armando los subsistemas, si es posible se hacen pruebas de estos por separado, todo este proceso hace parte del ensamble, donde todas las partes cumplen su misión específica para lo cual fueron diseñadas e incorporadas en el sistema completo. Este proceso debe incluir pruebas para la puesta en marcha y ajustes hasta garantizar el correcto funcionamiento del sistema completo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se presentan los diseños CAD de los tres prototipos de ecomuebles que integran piezas elaboradas a base de material compuesto, resultantes del estudio de mercado realizado sobre las preferencias de los consumidores con relación a comprar un mueble con propiedades medioambientales, en el cual se

obtuvo que, prefieren las sillas con 79,7 %, los soportes de lámpara 72 %, y en un 70 % están los muebles auxiliares y decorativos. Sin embargo, se mostrará el proceso llevado a cabo antes de la realización de los diseños.

4.1. Selección de muebles de madera a fabricar

En el marco del proyecto antes mencionado, para sustentar el criterio de selección de partes y de muebles a diseñar, se tomó como base los resultados obtenidos en el estudio del potencial de mercado para desarrollar muebles del hogar con características medioambientales y/o ecológicas en Colombia y El Salvador, en donde se exploró el tipo de muebles de preferencias del público, el tipo de material, el tipo de línea, el costo aproximado, función, estilo, vida útil, si es responsable con el medioambiente, entre otras características.

Cabe destacar que los resultados de los muebles preferidos tanto por los colombianos como salvadoreños fueron analizados por el grupo investigador del proyecto en cuestión y el representante de la fábrica de muebles de Barranquilla, donde se acordó que es viable elaborar tres prototipos con integración de material compuesto, estos son: Base para lámparas, mesas auxiliares con integración de panel de madera en la base, y butaca o silla auxiliar. Dado que aun cuando se busca prevenir el impacto medioambiental no se pueden descuidar las propiedades de los productos que se desean elaborar. Resultados que se pueden visualizar en la Figura 7.

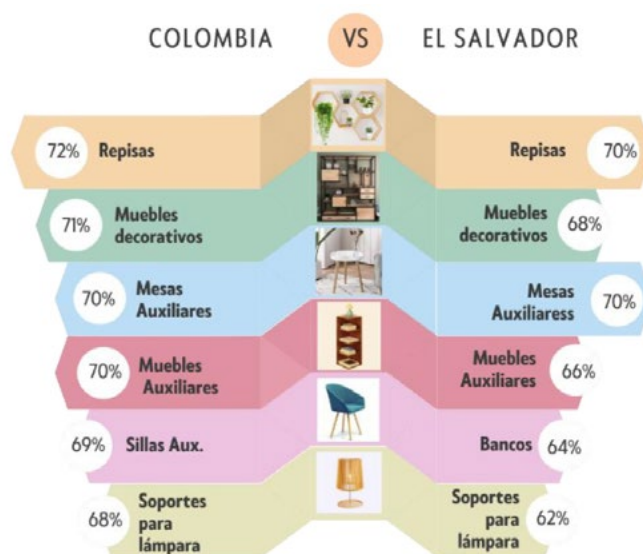


Figura 7. Preferencias de muebles para el hogar de los colombianos y salvadoreños

Fuente: Elaboración propia con base en estudio de potencial de mercado (2022)

Una vez determinados los productos, se procedió a escoger el material compuesto que sería empleado para elaborar las partes o piezas que serían integradas al mueble de madera que se desea fabricar.

4.2. Proceso de elaboración de paneles a base de residuos sólidos


El proceso de elaboración de los paneles de madera y/o partes que serían integradas al mueble, el cual comprende cinco etapas similares a las estipuladas en el referente teórico, y que serán descritas a continuación.

4.2.1. Selección de material compuesto y aglutinante a utilizar

Para elaborar las partes que serían integradas al mueble de madera, fue necesario escoger previamente el tipo de residuo sólido y el aglutinante que se emplearía para la construcción del panel que posteriormente sería una pieza del mobiliario a fabricar, para lo cual se seleccionaron unas muestras de materiales compuestos que podrían utilizarse. Lo anterior coincide con el primer paso para el proceso de elaboración de paneles elaborados a base de residuos sólidos detallado en el referente teórico: selección del material.


Las primeras muestras de materiales compuestos se realizaron con diferentes tipos de madera de pino, roble y trípex, con las que se probaron diversos aglutinantes como: cemento, fécula de maíz, grenetina o gelatina, termoplástico, yeso común, macilla acrílica, pegamento y resina epóxica, siendo mezclados en varias proporciones. Los compuestos obtenidos fueron examinados cualitativamente, y con una caracterización de presentación visual de la posible resistencia ante presión y deformación frente a carga aplicada con la mano. Adicionalmente se observó la uniformidad de los materiales, es decir, que no hubiera desprendimientos a causa de pequeños esfuerzos. De las mezclas realizadas se determinaron las ventajas y desventajas de cada una para así elegir la mezcla a emplear para construir el panel de madera. La Tabla 20 condensa estos resultados.

Tabla 20. Ventajas y desventajas de las mezclas realizadas

Tipo de Mezcla	Ventajas	Desventajas
 <p>Aserrín de pino + cemento</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Es un material de bajo costo y fácil de conseguir en grandes cantidades. - Es un material resistente. - Posee resistencia a la compresión, flexión y tracción. - Se adapta a cualquier molde. 	<ul style="list-style-type: none"> - La madera al ser un material que absorbe agua, en las pruebas donde se utiliza mucho residuo este minimiza las propiedades del cemento evitando que funcione de la mejor manera. - Se necesitan altas cantidades de cemento para que la madera pueda compactar. - La mezcla sufre desintegraciones.

ECO MUEBLES CON INTEGRACIÓN DE PANELES DE MADERA

<p>Aserrín de pino + fécula de maíz</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación sencilla. - No necesita de un catalizador para secarse. - Es de bajo costo y de fácil accesibilidad. - Es un material orgánico. - Es de fácil preparación. - No es un agente tóxico. - Muchas alternativas de aplicación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para obtener resultados iguales, las medidas deben estar estandarizadas. - Rotura al pasar de los días. - Tiende a consumirse. - No posee resistencia a tracción. - Si no se aplica con rapidez, se convierte en una solución grumosa.
 <p>Aserrín de pino + Grenetina o Gelatina</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación sencilla. - No necesita de un catalizador para secarse. - Es de bajo costo y de fácil accesibilidad - Es un material orgánico 	<ul style="list-style-type: none"> - Los resultados varían ya que en cada prueba ocurre algo diferente. - Al ser una sustancia especialmente utilizada en la gastronomía, ya después de un tiempo se descompone. - Textura gelatinosa, no resistente. - No tienen muy buena viabilidad.
 <p>Aserrín de pino + Termoplástico</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El Polietileno de Alta Densidad se caracteriza por su alta resistencia. - Es un producto 100% reciclado. No se utiliza materia virgen. - El polietileno es de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su estructura puede debilitarse si no se utiliza un molde a presión. - Triturar el Polietileno de Alta Densidad puede ser un proceso complejo si no se cuenta con el equipo ideal. - No es resistente a la humedad. - Únicamente puede desarrollarse con viruta, no con aserrín.
 <p>Aserrín de pino + Yeso común</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El yeso es un material fácil de moldear. - Es un producto de bajo costo. - El yeso es un aislante térmico, resiste al fuego y puede regular la humedad en el ambiente. - El yeso es un material biodegradable. 	<ul style="list-style-type: none"> - El yeso es un material opaco, que, al combinarse con los residuos de madera, los oculta, permitiendo que únicamente se vea la textura de estos. - Para los muebles no es un producto estético.
 <p>Aserrín de pino + Macilla acrílica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Solidificada tiene un color bastante claro y accesible para intentar pigmentar. - El secado es rápido. - No necesita de un catalizador para secarse. - La aplicación es sencilla. - Es de bajo costo y un material común en los hogares. 	<ul style="list-style-type: none"> - La fórmula en sí de la sustancia es demasiado espesa para agregar a los moldes. - Es una sustancia pesada. - No es muy adherente - Para lograr un encapsulado, se debe combinar bien con el residuo. - No tienen buena viabilidad.

 <p>Aserrín de pino + pegamento</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación sencilla. - Es de bajo costo y de fácil accesibilidad. - La preparación de la mezcla es fácil. - No es un agente tóxico. - Tiene diversas alternativas de aplicación. - Al secarse da una de las propiedades deseadas "Dureza" 	<ul style="list-style-type: none"> - Para obtener mayor dureza, debe esperarse mínimo 1 semana de secado. - Al manipularse tiende a secarse y a ser muy pegajoso - Compactar los residuos de madera con el pegamento tiende a ser muy laborioso. - El Proceso lento.
 <p>Aserrín de pino + Resina epóxica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La forma de polimerización de la resina es tan eficaz que un producto de resina puede durar por años, es decir es un producto resistente. - No tiene mayores procesos para llegar al producto final. El acabado es casi perfecto, es decir que es un producto estético. - Se le puede agregar de manera fácil un pigmento para darle color a las muestras o producto final. - Puede desarrollarse con aserrín, viruta y combinado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Con el tiempo, ciertas resinas epóxicas se tornan amarillas. - El costo de la resina epóxica en algunos países es bastante elevado. - No es un insumo reciclable. - Un mal uso de resina puede provocar accidentes en el proceso de manufactura. - La técnica debe ser perfeccionada para evitar grumos y burbujas de aire.

Fuente: Adaptado de pruebas realizadas por el equipo de diseño del CIDIM

Con base en las pruebas previas, se concluyó que la resina epóxica y los residuos sólidos de madera de pino, presentaron características idóneas para la elaboración de los paneles, por lo cual se decidió que los prototipos se desarrollarán con base en estos materiales.

4.2.1.1. Resina epóxica

La resina epóxica es un polímero que se caracteriza por su pureza y brillo, está compuesta por dos partes A y B donde una de ellas actúa como aglutinante y la otra como catalizador, este último hace que se endurezca el aglutinante.

4.2.2. Elaboración de moldes

Se fabricaron moldes de madera, que permitieron el vaciado de la mezcla de viruta de madera y resina epóxica. Los moldes se construyeron herméticos,

porque al recibir la pasta en su interior, se aplicó presión de 2 toneladas durante 30 minutos y no permitieron fuga de pasta. Al interior del molde se le aplicó antiadherente en spray para retirar las primeras dos probetas, para las siguientes dos probetas se utilizó un recubrimiento con hojas flexibles de teflón con lo que se facilitó la extracción de las probetas.

4.2.3. Mezclado de resina epóxica y residuos sólidos de pino

El procedimiento para preparar el compuesto seleccionado consiste en combinar primeramente las partes A y B de la resina, luego se realiza una mezcla que comprende 45 % de aserrín de madera y 55 % de resina epóxica. En este orden de ideas, se agrega la cantidad de aserrín calculada y se mezcla sistemáticamente para que las propiedades obtenidas sean uniformes a lo largo y ancho de las probetas de los paneles a fabricar (Ver Tabla 21).

Tabla 21. Condiciones bajo las que se desarrolló la probeta de material compuesto

Probetas de material compuesto	
Especificaciones	Descripción
Residuo sólido	Aserrín de pino
Aglutinante	Resina epóxica cristalina
Porcentaje de madera en la mezcla	45 %
Porcentaje de aglutinante en la mezcla	55 %
Cantidad de aserrín por probeta	22 gramos
Cantidad de aglutinante	27,5 mililitros
Dimensiones de las probetas o moldes	27 cm de largo, 4 cm de ancho y 7 mm de espesor

Fuente: *Elaboración propia*

En este caso particular por tratarse de la fabricación de las primeras probetas, la mezcla se combinó en el interior del molde de madera con las dimensiones del panel a elaborar.

4.2.4. Prensado

Una vez la mezcla se colocó al interior del molde, en una prensadora hidráulica CARVER se aplicó carga de dos toneladas por un tiempo de 30 minutos para acomodación de partículas de madera y la resina. Posteriormente, se le volvió a

aplicar la carga de dos toneladas y se dejó un tiempo de residencia de seis horas para que el catalizador curara o actuara.



Figura 8. **Prensado en la prensadora hidráulica Carver**

Fuente: Tomada de las pruebas realizadas por el equipo de diseño del CIDIM

4.2.5. Ensayos

Cuando las probetas estuvieron fraguadas fueron ensayadas en la máquina universal de ensayos marca Hensgrand, modelo WAW-1000D con capacidad de 1000 kN de carga (equivalente a 100 toneladas), para medir la resistencia a la tracción o rotura (Ver Figura 9).

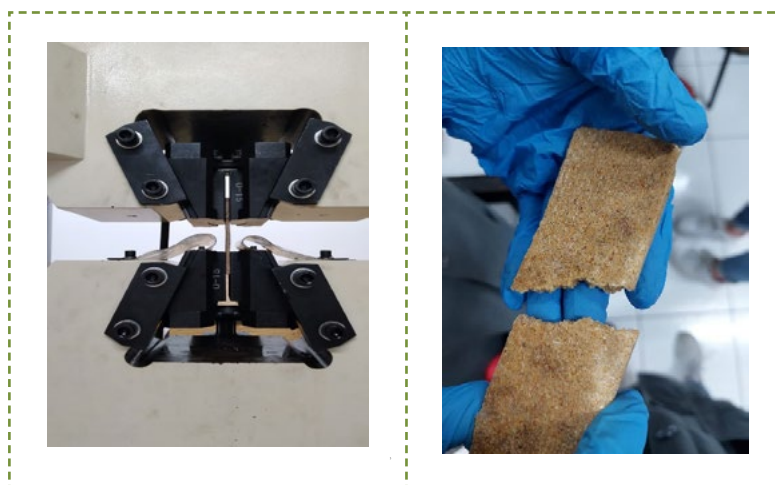


Figura 9. **Ensayo de resistencia a la tracción en máquina universal Hensgrand**

Fuente: Imagen suministrada por el equipo de diseño del Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura (CIDIM) de El Salvador (2022)

A continuación, en la Tabla 22 se presentan las condiciones bajo las cuales se desarrollaron los ensayos.

Tabla 22. Condiciones iniciales en el ensayo de probetas a base de madera de pino y resina acrílica

Especificaciones	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Temperatura (°C)	28	28	28
Sección	Planar	Planar	Planar
Velocidad (mm/min)	2	2	2
Longitud inicial	57	66	16
Espesor (mm)	5.54	4.61	5.38
Área (mm ²)	213.7	171	212.5

Fuente: Adaptada de información suministrada por el equipo de diseño del CIDIM (2022)

Los resultados obtenidos a partir de este ensayo para medir la resistencia a la tracción se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Resultados obtenidos en el ensayo de la resistencia a la tracción

Especificaciones	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Longitud final (mm)	59.849	69.707	20.95
Alargamiento porcentual después de la rotura (A%)	5.00	5.50	31.00
Alargamiento porcentual no proporcional bajo la carga máxima (Ag%)	2.50	3.50	1.50
Alargamiento total porcentual bajo la carga máxima (Agt%)	3.00	3.50	5.00
Alargamiento total porcentual de rotura (At%)	3.00	3.50	5.00
Carga última de falla (kN)	0,75	0,7	0,9
Esfuerzo de fluencia máximo Reh (Mpa)	2	2	2
Esfuerzo de fluencia mínimo Rel (Mpa)	2	1	2
Esfuerzo máximo a la tracción Rm (Mpa)	4	4	4
Rp (Mpa)	2	3	2
Módulo de elasticidad E (Mpa)	0,47	0,58	0,47

Fuente: Información suministrada por el equipo de diseño del CIDIM (2022)

Como puede notarse, los porcentajes de alargamientos totales de rotura son bastante similares, lo que indica que las probetas se han comportado como si fuera el mismo material de manera homogénea. Donde la carga máxima aplicada varió alrededor de 0,7 kN y 0,9 kN, y la deformación máxima antes de fallar varió entre 1 mm y 3,75 mm antes de fallar frente a la carga máxima. Con los ensayos realizados, se obtuvo información técnica acerca de la resistencia de los materiales compuestos preparados en el laboratorio, entre ellos los esfuerzos máximos, porcentajes de elongación. En esta etapa se obtuvo información para ser incluida

en los diseños que se prepararon, a manera que los materiales compuestos sean integrados en componentes específicos en diseños de mobiliario del hogar, como se verá a continuación.

4.3. Prototipos desarrollados

4.3.1. Base para lámpara

Este prototipo fue elaborado en plano seriado basado en las tendencias actuales. Este producto se ha desarrollado de material recuperado en su totalidad, utilizando aglomerado de aserrín de pino con resina epóxica, el diseño geométrico aporta a la noción de aminorar el desperdicio y que sea de fácil manufactura. En la elaboración de esta lámpara se aprovecharán aproximadamente 518 gramos de aserrín de pino combinados con 648,5 ml de resina epóxica, calculando que para cada centímetro cúbico se emplearán 0,2037 gramos de aserrín de pino y 0,2546 ml de resina epóxica. La Figura 16 ilustra el plano de la base para lámpara anteriormente descrita.

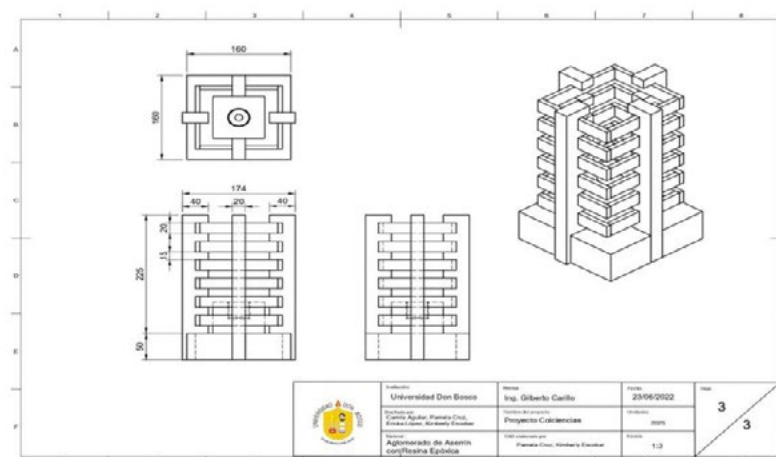


Figura 10. Plano de la lámpara elaborada con material compuesto

Fuente: Plano suministrado por el Equipo de Diseño del CIDIM – El Salvador

Tal como lo evidencia el plano anteriormente presentado, la base para lámpara es una estructura vertical de 27,5 cm de alto y 16 cm de ancho, integrada por una base cuadrada donde se encuentran dispuestos cuatro soportes unidos por seis cuadrados paralelos que se encuentran ensamblados en los soportes uno encima del otro guardando distancia entre ellos, los cuadrados paralelos se forman a partir de cuatro barras laterales en forma rectangular unidas por los extremos,

cuyas medidas son: 12 cm largo, 2 cm de alto y 7 mm de espesor. Esta descripción es ilustrada por la Figura 11.



Figura 11. **Render de la base para lámpara elaborada con material compuesto**

Fuente: Render suministrado por el Equipo de Diseño de la UDB - El Salvador

4.3.2. Base para mesa auxiliar

El diseño de este prototipo está basado en la mesa auxiliar Sidney, perteneciente al catálogo de la fábrica de muebles de Barranquilla. En el producto original, la mesa está compuesta por piezas elaboradas en: vidrio laminado común, vidrio laminado esmerilado al centro, metal y madera industrial de pino en los soportes. Ahora bien, en el replanteamiento realizado, los soportes fabricados a base de madera de pino serán sustituidos por unos elaborados a base de aglomerado de aserrín de pino mezclado con resina epóxica. La Figura 12 ilustra el plano general de la mesa auxiliar.

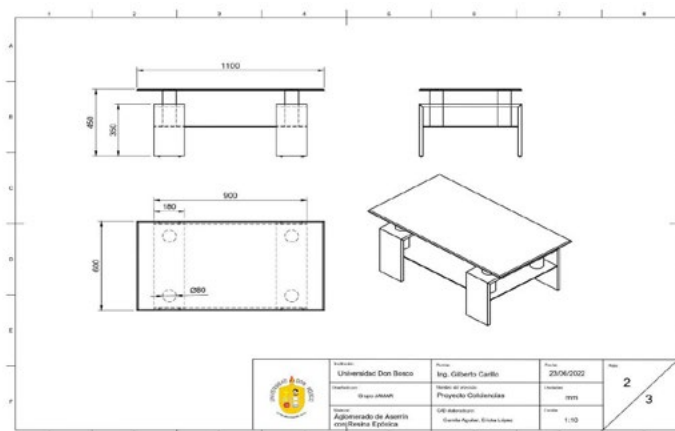


Figura 12. **Plano de la mesa auxiliar Sidney con integración de material compuesto**

Fuente: Plano suministrado por el Equipo de Diseño de la UDB - El Salvador

El plano anterior ilustra una mesa auxiliar de 110 cm de largo, 45 cm de alto, y 60 cm de ancho, integrada por un tablero horizontal de vidrio laminado común de 110 cm de largo y 60 cm de ancho, dispuesto sobre el extremo superior de cuatro barras metálicas situadas una en cada extremo del tablero horizontal y ensambladas en dos soportes elaborados a base de material compuesto que se encuentran unidos por una lámina horizontal de vidrio esmerilado ubicada en los extremos inferiores de las barras metálicas.

En la elaboración de los soportes a partir del material compuesto, se estarán reutilizando 1.815 gramos de aserrín de pino combinados con 2.268 ml de Resina Epóxica. Este resultado se calcula a partir de los volúmenes de cada una de las piezas y estimando que por cada centímetro cúbico se debe emplear 0,2037 gramos de aserrín de pino y 0,2546 ml de resina epóxica. La Figura 13 ilustra el prototipo que ha sido descrito.



Figura 13. **Render de la base para mesa auxiliar elaborada con material compuesto**

Fuente: Render suministrado por el Equipo de Diseño del CIDIM de la UDB - El Salvador

4.3.2. Butaca "Puff"

El prototipo del Puff Lugo, está enfocado en la sustitución de piezas de mediano soporte dentro del diseño establecido, en el cual se contempla el cambio de materiales con respecto al original perteneciente al catálogo de la fábrica de muebles de Barranquilla, implementando aglomerado de aserrín de pino con resina epóxica en las piezas para soportar las patas de la butaca y como parte de unión entre bastidores internos.

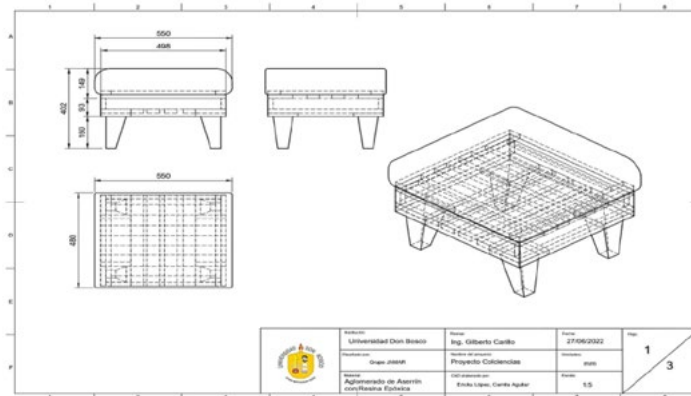


Figura 14. Plano de la Butaca integrada con material compuesto

Fuente: Plano suministrado por el Equipo de Diseño de la UDB - El Salvador

El prototipo del Puff es un mueble que integra en la parte superior un relleno de fondo, elaborado con espuma y tapizado con lino; dispuesto encima de un bastidor interno de madera de pino, situado en la parte superior de un frente de escalera rectangular relleno de espuma y tapizado con lino, cuyas dimensiones son 55 cm de largo, 48 cm de ancho y 9,3 cm de alto; el frente de escalera comprende además cuatro bastidores en la parte inferior, dos situados en el extremo y dos en el centro, los primeros son elaborados en madera de pino y los centrales son reemplazados por aglomerado; en las cuatro puntas de los bastidores del extremo se sitúan cuatro soportes de pata (uno en cada extremo), los cuales son un cuadrado de aglomerado, en cuya superficie se ubican las cuatro patas del puff (Ver Figura 15).



Figura 15. Render de la Butaca "puff"

Fuente: Plano suministrado por el Equipo de Diseño de la UDB - El Salvador

Ahora bien, en la Figura 16 es posible apreciar las piezas elaboradas a base de material compuesto integradas al puff, estas son: soportes para patas y bastidores centrales, las cuales en el render toman un color más oscuro que el de las partes elaboradas a base de madera de pino y para mayor diferenciación serán señaladas con un punto en color verde con blanco.

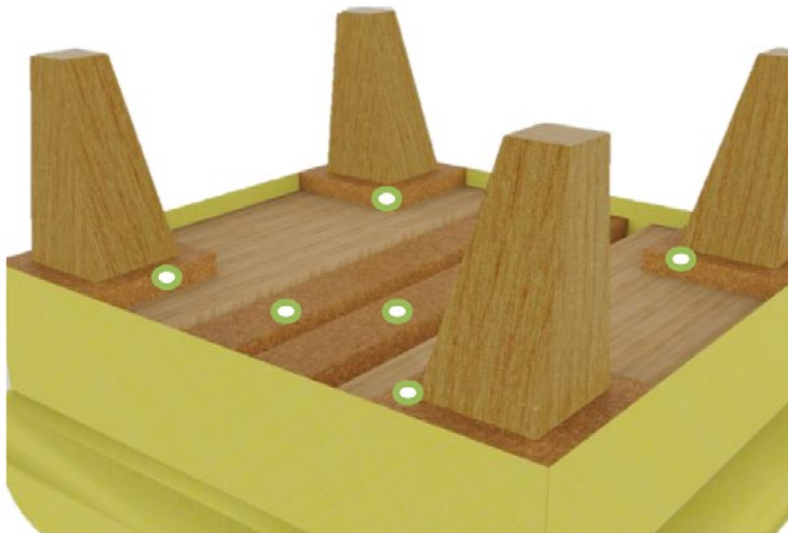


Figura 16. Render que ilustra las partes de aglomerado integradas al “puff”

Fuente: Plano suministrado por el Equipo de Diseño de la UDB - El Salvador

Cabe destacar que las piezas reemplazadas por material compuesto o aglomerado, se escogieron de manera estratégica, en aras de conservar la calidad, la funcionalidad y utilidad

5. CONCLUSIONES

Al finalizar este capítulo se puede afirmar que la elaboración de paneles a base de material compuesto, es una alternativa viable para contrarrestar la problemática de contaminación ambiental causada por la disposición de desechos en el ambiente, teniendo en cuenta que los residuos sólidos madereros son un recurso que se genera en cantidades elevadas en las fábricas de muebles de madera, y dado que el costo para eliminar residuos es alto, resulta conveniente desarrollar subproductos que puedan ser reintegrados al proceso productivo de mobiliarios. De acuerdo a lo anterior, se encontró que una manera de reestablecer los residuos sólidos al proceso productivo de elaboración de ecomuebles es convertir los

paneles de material compuesto en partes y/o piezas que integran un mueble de madera, tal como ocurrió en el caso expuesto en este capítulo donde se propone la fabricación de bases para lámparas, bases para mesas auxiliares y partes de butacas. Ahora bien, la revisión a la documentación existente relacionada con el aprovechamiento de residuos sólidos a través de la reintegración al proceso productivo de muebles de madera, deja entrever que la elaboración de partes de mobiliarios fabricadas a base de material compuesto es una práctica innovadora que ha dado como resultado productos que pueden competir en la industria de muebles, con aquellos que se desarrollan con madera natural. Asimismo, dan a conocer que la viruta y el aserrín pueden mezclarse con otros residuos que cumplen la función de aglutinante, siendo una constante en el proceso las etapas de mezclado y prensado al caliente para la obtención del producto final. En adición a lo anteriormente expuesto, aunque es posible mezclar los residuos sólidos con variedad de aglutinantes, debido a los ensayos realizados en esta investigación, se concluyó que la resina epóxica y los residuos sólidos de madera de pino, presentaron características idóneas para la elaboración de los paneles, que se transformarían luego en partes de material compuesto integradas a muebles de madera. Finalmente, haciendo alusión al estudio de mercado realizado se puede inferir que los muebles de madera integrados con material compuesto presentan acogida, debido a que en la actualidad han tomado relevancia los conceptos de ecología y economía circular, los cuales concientizan tanto a los consumidores como a las empresas acerca del cuidado del medioambiente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüeso, B. (2019). El proceso de transformación de la madera. Maderea. <https://www.maderea.es/el-proceso-de-transformacion-de-la-madera/>
- BNDES. (2008). Wood Panels in Brazil: Panorama and Perspectives [Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas]; BNDES: Rio de Janeiro, Brazil, pp. 121-156. Available online: https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2706.pdf
- Branciforti, M.C., Marinelli, A.L., Kobayashi, M., Ambrosio, J.D., Monteiro, R.M., y Nobre, A.D. (2009). Wood Polymer Composites Technology Supporting the Recovery and Protection of Tropical Forests: The Amazonian Phoenix Project. Sustainability 1, 1431-1443.
- Comisión Nacional Forestal del 21 de abril. (2020). Comisión Nacional Forestal., https://www.conafor.gob.mx/transparencia/docs/2021/PAT_2021_CONAFOR.pdf

- Chávez, L. (2019). Desarrollo y evaluación de tableros (paneles) de madera a base de tres tipos de adhesivos (taninos/hexamina, lignina glioxilida/ hexamina y lignina despolimerizada/hexamina) y sin formaldehído., http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1475/FITECMA-M-2019-2025.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- De Carvalho, C., Salvador, R., Moro, C., Sokulski, C., De Francisco, C., y De Carvalho Araujo, S. (2019). Circular Economy Practices on Wood Panels: A Bibliographic Analysis. *Sustainability*. 11, 1-21. doi:10.3390/su11041057
- Disma. (2018). Ficha técnica Disma Blancola., Recuperada de <http://www.disma.com.ec/wp-content/uploads/2018/03/FT-IDI-014-DISMA-BLANCOLA.docx.pdf>
- EMF – Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards a Circular Economy-Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition; Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK.
- Etimologías de Chile. (2022). Radicación de la palabra fragmento., <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-KjxczVtj6EJ:etimologias.dechile.net/%-3Ffragmento+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co&client=opera-gx>
- FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#country>
- González Acero, M. L., (2016). Aprovechamiento de los Residuos de la Madera Generados en el Sector de la Construcción en la Ciudad de Bogotá por Medio del Reciclaje.
- González, R. (2021). Prototipo de tablero a base de virutas de madera y envases de tetrabrik reciclados para modulares de interiores en edificaciones. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4538>
- Gutiérrez, A. (2020). Diseño de espacios con paneles de madera reciclada según parámetros bioclimáticos. *Delfín*, 1, 22-24. <https://hdl.handle.net/10983/25186>
- Hahn, T.M. (1982). Wood in our energy future. *Forest & Conservation History*. 26, 148-153.
- Holt, J., y Téllez, M. (2016). Aplicación de mobiliario diseñado a partir de materiales de desecho en propuestas de diseño de interiores. *Jóvenes en la Ciencia*, 1775-1779. [file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-ElReciclajeDeMaderaUnaHerramienta-ParaEmprenderYCui-7475480%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-ElReciclajeDeMaderaUnaHerramienta-ParaEmprenderYCui-7475480%20(1).pdf)
- Informe de caracterización de residuos sólidos, 2021.
- Kim, M.H. Song, H.B. (2014). Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems. *J. Clean. Prod.* 69, 199-207. [CrossRef]

- Kulla Design. (2010). Studio: 50 Sawdust table lamp” Designboom | Architecture & Design Magazine, 28 noviembre 2010, Recuperado de: <https://www.designboom.com/design/kulla-design-studio-50-sawdust-table-lamps/>
- Lykidis, C., & Grigoriou, A. (2008). Hydrothermal recycling of waste and performance of the recycled wooden particleboards. *Waste Manage.* 28s, 57-63.
- MERAF (2002). Multi-Pollutant Emissions Reduction Analysis Foundation (MERAF) for the Lumber and Allied Wood Products Sector. The Canadian Council of Ministers of Environment.
- Mirabella, N., Castellani, V., y Sala, S. (2014). “LCA for assessing environmental benefit of eco-design strategies and forest wood short supply chain: A furniture case study”. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(8), 1536-1550. doi:<http://biduam.mx:2199/10.1007/s11367-014-0757-7>
- Morby, A. (2017). “Oh Geon Creates Sculptural Chair from Resin and Sawdust.” Recuperado de: www.dezeen.com/2017/01/03/oh-geon-design-sculptural-chair-resin-sawdust-furniture-unusual-materials/
- Murphy, J.A., Smith, P.M., & Wiedenbeck, J. (2007). Wood residue utilization in Pennsylvania: 1988 vs. 2003. *Forest Products Journal.* 57, 101-106.
- Vigilancia tecnológica. (2021). Alternativas para el desarrollo de materiales compuestos.