

---

Diseño de estrategias para la minimización del impacto ambiental generado por la fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's

Rossana del Carmen Hernández Oviedo

Valentina Michell Ramos Julio

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura  
Ingeniería Industrial  
Sincelajo, Sucre  
2019

Diseño de estrategias para la minimización del impacto ambiental generado por la fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's

Rossana del Carmen Hernández Oviedo

Valentina Michell Ramos Julio

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero industrial

Director

Gean Pablo Mendoza Ortega

Magister en logística integral

Co-Director

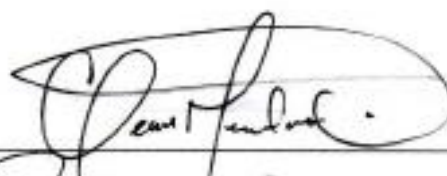
Rodrigo Daniel Salgado Ordosgoitia

Doctor en química

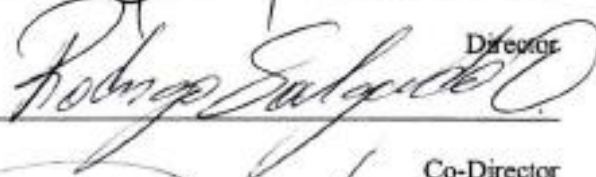
Corporación Universitaria del Caribe – CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura  
Ingeniería Industrial  
Sincelejo, Sucre  
2019

**Nota de Aceptación**

4,36



Director



Co-Director



Evaluador 1



Evaluador 2

Sincelejo, Sucre, 26 de julio 2019

### **Dedicatoria**

Dedico esta investigación llena de mucho esfuerzo a mi familia, que siempre ha mantenido constante su cariño y apoyo durante todo este proceso, especialmente a mi bisabuela Flor María López de Arroyo (QEPD), que en vida me dio infinitas muestras de amor y motivación.

— Valentina Michell Ramos Julio

Esta investigación va dedicada a Dios por abrirme caminos, a mis padres por su amor incondicional, sacrificio y apoyo, a mis hermanos por darme aliento y el resto de mi familia por su motivación.

— Rossana del Carmen Hernández Oviedo

### **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios por brindarnos la sabiduría para culminar este proyecto, a nuestros padres por apoyarnos en este sueño y darnos la oportunidad de tener una excelente educación. Igualmente agradecemos a nuestro director, el ingeniero Gean Pablo Mendoza Ortega y co-director de trabajo de grado, el químico Rodrigo Daniel Salgado Ordosgoitia, por su seguimiento, cumplimiento y motivación durante todo el proceso de la investigación, a los ingenieros Cesar José Vergara Rodríguez y Andrés Alberto Viloría Sequeda por el apoyo brindado y, por último, a los directivos de empresa Legno's S.A.S por abrirnos las puertas de su organización para lograr la recolección de información necesaria para el cumplimiento de este trabajo.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	16
Abstract.....	17
Introducción .....	18
1. Planteamiento del problema .....	19
2. Justificación.....	21
3. Objetivos.....	22
3.1. Objetivo general.....	22
3.2. Objetivos específicos .....	22
4. Marco referencial.....	23
4.1. Contaminación atmosférica .....	23
4.1.1. Emisiones. ....	23
4.1.2. Fuentes antropogénicas de contaminación atmosférica. ....	24
4.1.2.1. Fuentes de contaminación estáticas. ....	24
4.1.2.2. Fuentes de contaminación móviles. ....	24
4.1.3. Gases de efecto invernadero (GEI). ....	25
4.1.3.1. Vapor de agua ( $H_2O$ ). ....	25
4.1.3.2. Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ). ....	26
4.1.3.3. Metano ( $CH_4$ ). ....	26
4.1.3.4. Óxido Nitroso ( $N_2O$ ). ....	27
4.1.3.5. Hidrofluorocarbonos (HFC). ....	27
4.1.3.6. Hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ). ....	27

4.1.3.7.	<i>Perfluorocarbonos (PFC)</i> .....	28
4.3.	Emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia .....	29
4.3.1.	Emisiones de gases de efecto invernadero por sectores de la economía en Colombia. .	30
4.3.1.1.	<i>Emisiones de gases de efecto invernadero en el departamento de Sucre.</i> .....	31
4.4.	Análisis de la huella de carbono .....	32
4.4.1.	Inventario de emisiones.....	33
4.4.2.	Gestión de la contaminación. ....	33
4.4.3.	Principales metodologías para el cálculo de la huella de carbono. ....	34
4.4.3.1.	<i>Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol).</i> .....	34
4.4.3.2.	<i>ISO 14064-1: Gases de efecto invernadero.</i> .....	35
4.4.3.3.	<i>Norma PAS 2050.</i> .....	35
4.5.	Metodologías de evaluación y decisión multicriterio discreta.....	43
4.5.1.	Ponderación lineal (Scoring).....	43
4.5.2.	Utilidad multiatributo (MAUT). ....	43
4.5.3.	Relaciones de superación. ....	43
4.5.4.	Evaluación jerárquica de estrategias (AHP).....	44
4.6.	Metodologías aplicadas a la investigación.....	44
4.6.1.	Metodología Publicly Available Specification (PAS) 2050. ....	45
4.6.1.1.	<i>Puesta en marcha.</i> .....	46
4.6.1.1.1.	<i>Seleccionar objetivos.</i> .....	46
4.6.1.1.2.	<i>Selección de productos.</i> .....	46
4.6.1.1.3.	<i>Atraer a los proveedores.</i> .....	46
4.6.1.2.	<i>Cálculos de la huella del producto.</i> .....	47

4.6.1.2.1.	<i>Mapa de procesos.</i>	47
4.6.1.2.2.	<i>Comprobación de los límites y priorización.</i>	47
4.6.1.2.3.	<i>Recolección de datos.</i>	48
4.6.1.2.4.	<i>Cálculo de la huella.</i>	49
4.6.1.2.5.	<i>Comprobación de incertidumbre (opcional).</i>	49
4.6.1.3.	<i>Pasos siguientes.</i>	50
4.6.1.3.1.	<i>Validación de resultados.</i>	50
4.6.1.3.2.	<i>Reducción de emisiones.</i>	50
4.6.1.3.3.	<i>Comunicar la huella y reclamar reducciones.</i>	50
4.6.2.	Metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias – AHP	51
5.	Metodología	53
5.1.	Fase 1: Caracterización de los procesos de fabricación de los muebles de madera	53
5.2.	Fase 2: Cálculo de la huella de carbono para la elaboración de los muebles de madera	54
5.3.	Fase 3: Planteamiento de alternativas que contribuyan a la disminución de impacto ambiental	54
6.	Resultados	55
6.1.	Caracterización de la empresa Legno's S.A.S	55
6.1.1.	Misión	56
6.1.2.	Visión	56
6.1.3.	Imago tipo	56
6.1.4.	Productos que fabrica la empresa Legno's	56
6.1.5.	Descripción de áreas de trabajo	58
6.1.5.1.	<i>Recepción de materia prima y cargue de productos terminados.</i>	59
6.1.5.4.	<i>Ensamble.</i>	59



6.1.5.5.	<i>Pintura.</i>	60
6.1.5.6.	<i>Secado.</i>	60
6.1.5.7.	<i>Oficinas administrativas.</i>	60
6.1.5.8.	<i>Servicios sanitarios.</i>	60
6.1.5.9.	<i>Oficios varios.</i>	60
6.1.5.10.	<i>Desechos.</i>	61
6.1.6.	Estructura de la cadena de abastecimientos de los muebles de madera en la empresa Legno's.	61
6.1.6.1.	<i>Proveedores.</i>	62
6.1.6.2.	<i>Fabricantes.</i>	62
6.1.7.	Proceso de fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's.	63
6.1.7.1.	<i>Diseño del mueble.</i>	66
6.1.7.3.	<i>Trazado.</i>	66
6.1.7.4.	<i>Corte.</i>	67
6.1.7.5.	<i>Lijado.</i>	67
6.1.7.7.	<i>Acabados.</i>	67
6.1.7.7.2.	<i>Craquelado.</i>	68
6.1.7.7.3.	<i>Barniz.</i>	68
6.1.7.7.4.	<i>Natural.</i>	68
6.1.7.7.5.	<i>Pintura.</i>	68
6.1.7.8.	<i>Embalaje.</i>	69
6.1.7.9.	<i>Expedición.</i>	69
6.2.	Mapa de procesos de la fabricación de muebles de madera	70
6.3.	Definición del límite de cálculo de la huella de carbono en la empresa Legno's.	72

---

6.3.1.	Unidad funcional.....	72
6.3.2.	Limite organizacional.....	72
6.3.3.	Limite operacional.....	72
6.3.4.	Exclusiones.....	73
6.3.5.	Priorización de datos.....	73
6.4.	Recopilación de datos para el cálculo de la huella de carbono.....	75
6.4.1.	Tiempos de procesamiento por etapa de trabajo.....	75
6.4.2.	Herramientas y máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de muebles de madera. 77	
6.4.3.	Medios de transporte utilizados para la expedición de los productos.....	78
6.5.	Cálculo de emisiones de GEI en la empresa Legno's.....	79
6.5.1.	Cálculo de emisiones de GEI para el consumo de energía eléctrica.....	79
6.5.2.	Cálculo de emisiones de GEI para el consumo de combustible.....	81
6.6.	Diseño de estrategias para minimizar el impacto ambiental producido por Legno's.....	84
6.6.1.	Modelización del problema.....	84
6.6.1.1.	<i>Definición del objetivo.....</i>	84
6.6.1.2.	<i>Identificación de criterios.....</i>	84
6.6.1.3.	<i>Identificación de alternativas.....</i>	84
6.6.1.3.1.	<i>Alternativas para la operación de corte.....</i>	85
6.6.1.3.2.	<i>Alternativas para la operación de lijado.....</i>	88
6.6.1.3.3.	<i>Alternativas para la operación de ensamble.....</i>	90
6.6.1.3.4.	<i>Alternativas para la operación de acabados.....</i>	92
6.6.1.3.5.	<i>Alternativas para la operación de expedición.....</i>	96
6.6.1.4.	<i>Conformación del diagrama jerárquico.....</i>	100

---

6.6.2.	Priorización de elementos. ....	105
6.6.3.	Matriz de comparaciones pareadas entre los elementos.....	110
6.6.3.1.	<i>Coficiente de consistencia.</i> ....	116
6.6.4.	Ranking de alternativas. ....	125
6.6.5.	Síntesis .....	126
	Conclusiones .....	129
	Referencias.....	131
	Anexos .....	138

### Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Distribución porcentual de las emisiones de GEI a nivel mundial .....	28
<i>Figura 2.</i> Distribución de emisiones de GEI por departamento en Colombia.....	30
<i>Figura 3.</i> Distribución porcentual de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por sectores económicos en Colombia.....	31
<i>Figura 4.</i> Cinco pasos para calcular la huella de carbono .....	47
<i>Figura 5.</i> Vista superior de la ubicación de la empresa Legno's.....	55
<i>Figura 6.</i> Imago tipo de Legno's .....	56
<i>Figura 7.</i> Diagrama 2D de la empresa Legno's.....	58
<i>Figura 8.</i> Cadena de abastecimientos de la empresa Legno's .....	61
<i>Figura 9.</i> Diagrama de operaciones del proceso de fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's .....	64
<i>Figura 10.</i> Diagrama de flujo del proceso de fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's .....	65
<i>Figura 11.</i> Mapa de procesos de muebles de madera en la empresa Legno's.....	71
<i>Figura 12.</i> Límite para el cálculo de la huella de carbono en Legno's .....	72
<i>Figura 13.</i> Limite organizacional y operacional de la empresa Legno's .....	73
<i>Figura 14.</i> Emisiones de GEI por operaciones del proceso de fabricación de muebles de madera .....	80
<i>Figura 15.</i> Toneladas de CO <sub>2</sub> eq generadas por Legno's en el año 2018.....	83
<i>Figura 16.</i> Diagrama jerárquico de la operación corte .....	100
<i>Figura 17.</i> Diagrama jerárquico de la operación lijado .....	101
<i>Figura 18.</i> Diagrama jerárquico de la operación ensamble .....	101
<i>Figura 19.</i> Diagrama jerárquico de la operación acabados .....	102
<i>Figura 20.</i> Diagrama jerárquico de la operación expedición .....	102

### Lista de tablas

Tabla 1. <i>Visión general de los aspectos específicos de las metodologías PAS 2050, GHG protocol e ISO 14064-1</i> .....	37
Tabla 2. <i>Cuadro de aplicación en diferentes áreas de la norma PAS 2050</i> .....	38
Tabla 3. <i>Escala de la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias(AHP)</i> .....	52
Tabla 4. <i>Referencias de muebles para el hogar fabricados en Legno's</i> .....	57
Tabla 5. <i>Referencias de muebles para la oficina fabricados en Legno's</i> .....	58
Tabla 6. <i>Resumen de tiempos de procesamiento por operación durante el año 2018</i> .....	75
Tabla 7. <i>Potencia de las herramientas y maquinas utilizadas para la fabricación de muebles de madera</i> .....	77
Tabla 8. <i>Descripción de vehículos utilizados en la empresa Legno's</i> .....	78
Tabla 9. <i>Consumo total de energía eléctrica en la empresa Legno's</i> .....	79
Tabla 10. <i>Factores de emisión para la energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional (SIN)</i> .....	80
Tabla 11. <i>Cálculo de emisiones de GEI por operaciones del proceso de fabricación de muebles de madera</i> .....	80
Tabla 12. <i>Consumo total de gasolina durante el año 2018</i> .....	81
Tabla 13. <i>Factores de emisión para combustibles líquidos</i> .....	82
Tabla 14. <i>Cálculo de emisiones de GEI para los vehículos de la empresa Legno's</i> .....	82
Tabla 15. <i>Paquete de sistema fotovoltaico para generación de energía</i> .....	95
Tabla 16. <i>Paquete de conversión de diésel a gas natural en vehículos</i> .....	97
Tabla 17. <i>Descripción de camión para expedición</i> .....	98
Tabla 18. <i>Información de las alternativas correspondientes a la operación de corte</i> .....	103
Tabla 19. <i>Información de las alternativas correspondientes a la operación de lijado</i> .....	103
Tabla 20. <i>Información de las alternativas correspondientes a la operación de ensamble</i> .....	104
Tabla 21. <i>Información de las alternativas correspondientes a la operación de acabados</i> .....	104
Tabla 22. <i>Información de las alternativas correspondientes a la operación de expedición</i> .....	104

Tabla 23. <i>Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación corte</i> .....	105
Tabla 24. <i>Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación lijado</i> .....	106
Tabla 25. <i>Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación ensamble</i> .....	107
Tabla 26. <i>Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación acabados</i> .....	108
Tabla 27. <i>Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación expedición</i> .....	109
Tabla 28. <i>Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de criterios</i> .....	110
Tabla 29. <i>Definición del vector prioridad para alternativas en la operación corte</i> .....	111
Tabla 30. <i>Definición del vector prioridad para alternativas en la operación lijado</i> .....	112
Tabla 31. <i>Definición del vector prioridad para alternativas y criterios operación ensamble</i> ...	113
Tabla 32. <i>Definición del vector prioridad para alternativas en la operación acabados</i> .....	114
Tabla 33. <i>Definición del vector prioridad para la operación expedición</i> .....	115
Tabla 34. <i>Definición del vector prioridad para los criterios</i> .....	116
Tabla 35. <i>Cálculo de <math>\lambda_{max}</math> de las alternativas de la operación corte</i> .....	117
Tabla 36. <i>Cálculo de <math>\lambda_{max}</math> de las alternativas de la operación lijado</i> .....	117
Tabla 37. <i>Cálculo de <math>\lambda_{max}</math> de las alternativas de la operación ensamble</i> .....	118
Tabla 38. <i>Cálculo de <math>\lambda_{max}</math> de las alternativas de la operación acabados</i> .....	118
Tabla 39. <i>Cálculo de <math>\lambda_{max}</math> de las alternativas de la operación expedición</i> .....	119
Tabla 40. <i>Cálculo de <math>\lambda_{max}</math> de los criterios</i> .....	119
Tabla 41. <i>Índice aleatorio de consistencia por cantidad de elementos que se comparan</i> .....	121
Tabla 42. <i>Matriz de vectores de prioridad de la operación corte</i> .....	124
Tabla 43. <i>Matriz de vectores de prioridad de la operación lijado</i> .....	124
Tabla 44. <i>Matriz de vectores de prioridad de la operación ensamble</i> .....	124
Tabla 45. <i>Matriz de vectores de prioridad de la operación acabados</i> .....	124
Tabla 46. <i>Matriz de vectores de prioridad de la operación expedición</i> .....	125

Tabla 47. <i>Vector de priorización de las alternativas de la operación corte</i> .....	125
Tabla 48. <i>Vector de priorización de las alternativas de la operación lijado</i> .....	125
Tabla 49. <i>Vector de priorización de las alternativas de la operación ensamble</i> .....	126
Tabla 50. <i>Vector de priorización de las alternativas de la operación acabados</i> .....	126
Tabla 51. <i>Vector de priorización de las alternativas de la operación expedición</i> .....	126

### **Lista de ecuaciones**

Ecuación 1. Cálculo de emisiones .....	49
Ecuación 2. Índice de consistencia .....	119
Ecuación 3. Razón de consistencia .....	122

### **Lista de anexos**

Anexo 1. Fotografías de visita a la empresa .....	138
Anexo 2. Tiempos de procesamiento en el proceso de fabricación de muebles de madera de Legno's durante el año 2018.....	140
Anexo 3. Descripción de herramientas y maquinas utilizadas para el proceso de fabricación de muebles de madera.....	143
Anexo 4. Cálculo del consumo de energía eléctrica por operación en cada mes del año 2018 en la empresa Legno's .....	146
Anexo 5. Recorrido realizado desde la empresa hacia los clientes durante el año 2018.....	152

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar el impacto ambiental emitido en la fabricación de muebles de madera, a través del cálculo de la huella de carbono proporcionada por la metodología PAS 2050, donde se tuvieron en cuenta los datos asociados al consumo de energía eléctrica y combustible de los procesos realizados en la empresa Legno's S.A.S durante el año 2018, obteniendo un total de 13,58 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, las cuales 8,62 toneladas de CO<sub>2</sub>eq provenientes del consumo de energía eléctrica generado por las maquinarias y herramientas, y 4,96 toneladas de CO<sub>2</sub>eq correspondientes al consumo de combustible de los camiones. Seguido de eso, se diseñaron tres alternativas para disminuir el impacto producido por cada una de las operaciones del proceso productivo, utilizando la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias (AHP) que arrojó como mejor estrategia para la operación de corte la de sustitución a herramientas de menor potencia, con una priorización del 40%, para la operación de lijado se escoge la alternativa de sustitución de maquinaria, con un 40% de priorización, seguidamente, para la operación de ensamble, la alternativa de realizar un mantenimiento preventivo y correctivo a las herramientas utilizadas, obtuvo un 35% de priorización, de igual manera, la mejor opción para disminuir el impacto ambiental generado por la operación de acabados es la del mejoramiento de las condiciones tecnológicas, con un nivel de priorización del 48% y por último, en la operación de expedición fue seleccionada como mejor alternativa el cambio de combustibles (gas natural) con un nivel de priorización del 52%, haciendo que la empresa reduzcan a un 72,7%, es decir, la empresa pasará de emitir 13,58 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a sólo 3,71 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año.

*Palabras clave:* gases de efecto invernadero, impacto ambiental, Metodología multicriterio AHP, Metodología PAS 2050, muebles de madera.



### **Abstract**

The objective of this research was to analyze the environmental impact emitted in the manufacture of wooden furniture, through the calculation of the carbon footprint provided by the methodology PAS 2050, which took into account the data associated with the consumption of electricity and fuel processes carried out in the company Legno's S.A.S during 2018, obtaining a total of 13.58 tons of CO<sub>2</sub>eq, which 8.62 tons of CO<sub>2</sub>eq from the consumption of electricity generated by machinery and tools, and 4.96 tons of CO<sub>2</sub>eq corresponding to the fuel consumption of trucks. Following this, three alternatives were designed to reduce the impact produced by each of the operations of the production process, using the multi-criteria methodology for the hierarchical evaluation of strategies (AHP) that yielded as the best strategy for the cutting operation the substitution of lower power tools, with a prioritization of 40%, for the sanding operation the alternative of machinery substitution is chosen, with a 40% prioritization, then for the assembly operation, the alternative of carrying out preventive and corrective maintenance to the tools used, obtained a 35% prioritization, likewise, the best option to reduce the environmental impact generated by the operation of finishes is the improvement of technological conditions, with a level of prioritization of 48% and finally, in the expedition operation was selected as the best alternative fuel change (natural gas) with a level of prioritization of 52%, making the company reduce to 72.7%, i.e. the company will go from emitting 13.58 tons of CO<sub>2</sub>eq to only 3.71 tons of CO<sub>2</sub>eq per year.

*Keywords:* AHP multicriteria methodology, environmental impact, greenhouse gases, PAS 2050 methodology, wooden furniture.

## Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las actividades antropogénicas provocan alteraciones en el clima, daños a la salud humana y afectaciones a la fauna y flora. Debido a lo anterior, se han creado parámetros de medición como la huella de carbono, que permiten realizar inventarios de GEI asociados a una nación, empresa, persona o producto, con el fin de consolidar estrategias de reducción de las emisiones y a su vez contribuir a minimizar el calentamiento global (Freijo, 2012).

Se han creado diferentes metodologías que recopilan datos de consumos directos e indirectos y los convierten en unidades de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ). Entre las metodologías de cuantificación y análisis de la huella de carbono más conocidas se encuentra the Green House Gas Protocol (GHG Protocol), la ISO 14064-1: Gases de efecto invernadero y la metodología PAS 2050.

Para determinar el impacto ambiental en la empresa Legno's S.A.S se realiza un estudio de carácter mixto, donde se evalúa aspectos cualitativos, siendo estos los Recuperados por la caracterización del proceso productivo, y a su vez se constituyen datos cuantitativos, que son los generados por la cuantificación de la huella de carbono mediante la metodología PAS 2050, la cual ofrece ciertas ventajas respecto a otros métodos, como su simplicidad y claridad en el procedimiento. Adicionalmente, se utiliza un método matricial establecido por la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias (AHP), con la que se decretó la mejor opción de disminución de las emisiones generadas por cada operación de la empresa, mediante la comparación pareada de criterios y alternativas, teniendo en cuenta que no afecte la capacidad y no tuviera una inversión muy elevada.

## 1. Planteamiento del problema

La atmosfera del planeta Tierra está formada por una serie de componentes gaseosos conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), los cuales mantienen el calor y permiten la existencia de vida, estos gases son generados de manera natural (por las olas del mar o incendios naturales) y antropogénica (emitidos por las actividades de los seres humanos), siendo estas últimas las que más influyen en el aumento del calentamiento global, produciendo alteraciones en el clima, debido a que son realizadas a mayor escala (Benavides & León, 2007).

El (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2016) realizó en Colombia un inventario que muestra la cantidad de GEI producida por las actividades humanas, las cuales son medidas en unidades de CO<sub>2</sub>eq, esta cuantificación arrojó que el país emite a la atmosfera un total de 258 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq, de los cuales el sector manufacturero contribuyó al 11% de las emisiones, debido al colosal uso de energía eléctrica y combustibles en sus procesos.

Las industrias manufactureras en el departamento de Sucre efectúan actividades como la fabricación de cemento, producción de alimentos y elaboración de muebles de madera (Cámara de comercio de Sincelejo, 2017), las cuales según el IDEAM (2016) generaron 389 mil toneladas de CO<sub>2</sub>eq, es decir el 12,97% del total de las emisiones departamentales.

Los procesos de fabricación de muebles de madera en la ciudad de Sincelejo son desarrollados de manera artesanal y sin ninguna estandarización, causando una utilización deficiente de los recursos y, por ende, un aumento de las emisiones de GEI a la atmosfera. Entre las organizaciones que conforman este tipo de industria podemos destacar a la empresa Legno's S.A.S, que realiza sus procesos de manera semi-industrializada, lo cual permite desarrollar una producción mensual aproximada de 233 muebles de madera, donde el 75% son muebles del hogar y el 25% muebles de oficina. Dentro de los procesos productivos de esta empresa se utilizan cortadoras, fresadoras, taladros, compresores de pinturas, además de vehículos para la expedición de los muebles, que aportan a la contaminación, dando como consecuencia el aumento del

calentamiento global, disminución de la capa de ozono y posibles efectos en la salud humana (gasNatural Fundación, 2014).

Basado en lo anterior, con el desarrollo de este proyecto se propone realizar el diseño de estrategias que minimicen el impacto ambiental de la fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's S.A.S, tomando como referente la norma PAS 2050, la cual es una guía metodológica para calcular la huella de carbono que contribuirá a la identificación de fuentes de emisión de GEI, además se utilizará la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias (AHP) que ayudará a seleccionar la mejor alternativa, logrando tener procesos más eco-eficientes en la empresa, sin incurrir en costos elevados y mantener la capacidad productiva.

Acorde a eso, se genera la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles serían las estrategias para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente generadas por el proceso de fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's?

## 2. Justificación

La contaminación creada por las actividades de las empresas manufactureras está afectando cada vez más el clima y la salud de los habitantes del planeta. Por lo tanto, se hace necesario analizar el nivel de contaminación de los procesos de fabricación y expedición de los muebles de madera en la empresa Legno's S.A.S, con el fin de tomar acciones para minimizar la cantidad de GEI que se emiten debido al uso de transporte para productos terminados y los largos tiempos de procesamiento de la madera, lo cual apoyará a la disminución de la contaminación del ambiente, ya que se estarían realizando procesos más eco-eficientes que eviten la propagación de contaminantes en el aire (EcoHabitar, 2012).

Al calcular la huella de carbono, según la (Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), 2015) la empresa reducirá los costos operativos, debido a que se detectan los puntos de la fase productiva donde se consume mayor cantidad de recursos. Al mismo tiempo, se mejoraría el acceso a créditos bancarios para la organización, puesto que existen entidades financieras que otorgan diferentes incentivos a las empresas que demuestren su responsabilidad ambiental (Bancolombia, 2017). También se estaría mejorando la imagen de Legno's S.A.S e incrementando las utilidades de la empresa, porque se ha demostrado mediante investigaciones de la (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2012) que los clientes se inclinan más por comprar los productos que provengan de procesos "limpios", es decir, que sean amigables con el medio ambiente.

De igual manera, este proyecto será un referente para otras organizaciones que deseen saber cómo utilizar la metodología PAS 2050 en el cálculo de la huella de carbono y a su vez, como hacer un análisis de estrategias a través de la metodología AHP, encontrando alternativas que ayude a disminuir la generación de emisiones en el proceso productivo de muebles de madera de Legno's S.A.S. Además, los resultados arrojados por esta investigación servirán para realizar un comparativo de años posteriores en materia de impacto ambiental en la empresa, evidenciando si las estrategias implementadas contribuyen o no de manera significativa a disminuir el impacto ambiental que se genera.

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo general

Diseñar estrategias para minimizar el impacto ambiental producido por las actividades desarrolladas en la empresa Legno's, a través del cálculo de la huella de carbono.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los procesos de fabricación de muebles de madera con el fin de recolectar información mediante la observación directa, que permitan conocer el funcionamiento de la empresa.
- Cuantificar mediante la metodología PAS 2050 las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en la elaboración de muebles de madera, con el fin de determinar el impacto ambiental que se produce en la organización.
- Plantear alternativas usando la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias (AHP), que contribuyan a la disminución de las emisiones de la empresa Legno's.

## **4. Marco referencial**

### **4.1. Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica consiste en la presencia de sustancias en el aire con concentraciones suficientemente altas para afectar la salud de los seres humanos, animales e impedir la recuperación natural de los ecosistemas (Carnicer, 2008). Según el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), 2016) esta es considerada el tercer factor que más genera costos sociales, después de la contaminación del agua y de los desastres naturales, debido a la gran intervención que debe hacerse para minimizar sus efectos.

El (Ministerio para la transición ecológica (Miteco), 2018, párr. 1) señala que las sustancias que hacen que se origine la contaminación atmosférica pueden ser provenientes de forma natural, por lo ciclos del planeta, erosiones volcánicas, incendios provocados de manera natural, el movimiento de las olas y otros efectos no influenciados por el hombre, o también se pueden dar de forma antropogénicas, es decir por las actividades realizadas por los seres humanos, siendo esta ultima la principal responsable.

#### **4.1.1. Emisiones.**

Las emisiones corresponden a todas aquellas sustancias, materiales o formas de energía que se descargan al ambiente por causa de una actividad, ya sea originada de manera natural o antropogénica. El grado de incidencia de las emisiones corresponde al tipo de partícula y sus características físicas, químicas o biológicas, estos materiales afectan al medio ambiente, a los seres humanos y animales (Chaparro, Cuervo, Gómez y Toro, 1994, pp. 531-532).

Las emisiones atmosféricas pueden ser de varios tipos: partículas, gases, ruido, corrientes de alta temperatura u olores. Los gases se producen principalmente por la quema de carbón, derivados del petróleo, gas natural, madera y residuos vegetales, también por el uso de gasolina y solventes industriales, degradación del material orgánico y el uso de químicos en procesos de transformación de las industrias.

Existen dos niveles de importancia para las emisiones de la atmosfera, estos se clasifican según el efecto que generen sobre el ambiente, el primero es a nivel local, donde se ubican las sustancias que afectan a la salud de las personas y el segundo corresponde al nivel mundial, que contiene sustancias que alteran al ambiente global, incrementando el efecto invernadero o el calentamiento global (Chaparro, Cuervo, Gómez y Toro, 1994, pp. 532-533).

#### **4.1.2. Fuentes antropogénicas de contaminación atmosférica.**

Según Spiegel y Maystre (2012) las fuentes de contaminación atmosféricas generadas de manera antropogénicas se clasifican en dos tipos:

##### ***4.1.2.1. Fuentes de contaminación estáticas.***

Las fuentes de contaminación estáticas son las emisiones que se producen en un lugar inamovible, estas a su vez se pueden subdividir en tres partes:

**Fuentes zonales**, las cuales contienen a la contaminación generada por la producción agrícola, minas, canteras y zonas industriales.

**Fuentes localizadas**, estas se encuentran en las centrales de generación de energía, industrias básicas de metales, fábricas de productos químicos y las fábricas de productos minerales no metálicos.

**Fuentes municipales**, estas conciernen a la contaminación generada por los sistemas de calefacción y refrigeración en edificios y viviendas, las incineradoras de residuos y chimeneas.

##### ***4.1.2.2. Fuentes de contaminación móviles.***

Las fuentes de contaminación móviles, según el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC, 2016, párr. 2) corresponden a las que por razón de su función las emisiones se generan durante el desplazamiento de la fuente, como es el caso de los vehículos, trenes y aviones.



Todas estas fuentes de contaminación llevan al aumento de la temperatura en la Tierra, lo que es conocido como calentamiento global o efecto invernadero, esto es consecuencia de los gases que son generados por la combustión de energías fósiles, actividad industrial, deforestación u otras actividades realizadas por los seres humanos, conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Benavides & León, 2007). Estos absorben la energía que emite la superficie calentada por la radiación solar, produciendo un desequilibrio térmico que afecta la vida existente en el planeta (Moreda, 2010, p. 1).

Las actividades antropogénicas se vieron en aumento gracias a la revolución industrial, donde se expandió la agricultura y aumentó la industrialización y la producción en las fábricas, generando mayor cantidad de GEI de los que pudo asimilar la atmosfera, causando el aumento del calentamiento global (IDEAM, 2015, p. 5).

#### **4.1.3. Gases de efecto invernadero (GEI).**

Los gases de efecto invernadero (GEI) son compuestos gaseosos que se acumulan en la atmosfera y son capaces de absorber la radiación infrarroja del sol, reteniendo el calor en la tierra (Minambiente, 2019), estos están presentes en la atmosfera en concentraciones muy pequeñas consideradas naturales, pero estas aumentan por las actividades humanas, causando la perturbación del clima (IDEAM, 2015)

Entre los principales gases de efecto invernadero se encuentran: El vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), Metano ( $CH_4$ ), Óxido nitroso ( $N_2O$ ), Hidrofluorocarbonos (HFC), Hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), Perfluorocarbonos (PFC). Los gases de efecto invernadero una vez emitidos tienen una duración en la atmosfera de años, décadas e inclusive siglos (Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), 2016).

##### **4.1.3.1. Vapor de agua ( $H_2O$ ).**

El vapor de agua ( $H_2O$ ) es el responsable principal de las dos terceras partes del efecto invernadero natural (Benavides & León, 2007). Este es emitido por la evaporación y ebullición del

agua en estado líquido o por la sublimación del agua en estado sólido, los cuales hacen parte del ciclo hidrológico (Colque y Sánchez, 2007, p. 5).

Cabe resaltar que las actividades humanas no producen vapor de agua a la atmosfera, pero puede retener mayor cantidad de humedad lo que causa el aumento de las temperaturas intensificando más el cambio climático (Benavides & León, 2007).

Es imposible de controlar directamente la cantidad de vapor de agua que llega a la atmosfera, ya que el agua se encuentra en el 71% de la superficie terrestre, por lo tanto es necesario que el ser humano limite los demás GEI, principalmente los catalogados de larga permanencia como el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> con el fin de lograr controlar la temperatura de la Tierra (Dlugokencky, y otros, 2016)

#### ***4.1.3.2. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).***

El dióxido de carbono es un gas que se asocia mucho a las actividades humanas y el que más influye en el calentamiento global después del vapor de agua. Este gas proviene de fuentes naturales involucradas en el ciclo del carbono, la descomposición de materia orgánica, incendios forestales o erupciones volcánicas y de fuentes antropogénicas por el consumo de combustibles fósiles, tala y quema de bosques y de producción de bienes (Benavides & León, 2007).

Actualmente este gas es el responsable del 53% del calentamiento global y va en aumento cada año (Sostenibilidad para todos, 2012). El dióxido de carbono es catalogado como un gas de larga vida, debido a que permanece en la atmosfera un tiempo mayor a 100 años, por lo tanto, es necesario reducir su emisión (IDEAM, 2015).

#### ***4.1.3.3. Metano (CH<sub>4</sub>).***

El metano se libera en la atmosfera cuando la materia orgánica se descompone en ambientes donde carecen el oxígeno, los cultivos de arroz bajo riego, la disposición de residuos sólidos, el tratamiento anaerobio de aguas residuales proporcionadas por las industrias y los hogares, además de la distribución del gas natural y el petróleo, la explotación del carbón mineral,

y por la fermentación entérica causada por el proceso digestivo de los herbívoros, este último genera hasta el 37% del metano presente en la atmósfera (Benavides y León, 2008, pp. 37-38).

El metano es un GEI muy fuerte, el cual es removido de la atmósfera por reaccionar con radicales hidroxilos (OH), convirtiéndose finalmente en CO<sub>2</sub>, haciendo que se incremente el calentamiento global. Este gas representa entre un 15-20% de las emisiones de GEI y su permanencia en la atmósfera oscila entre los 10 y 15 años (Benavides & León, 2007).

#### ***4.1.3.4. Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O).***

El óxido nitroso es emitido por los fertilizantes agrícolas, el estiércol del ganado, tratamiento de aguas, la combustión y otros procesos industriales como la producción de nylon. Este gas se encuentra en concentraciones menores que el dióxido de carbono en la atmósfera, al igual que el metano, y posee una duración en la atmósfera de 121 años (Oceana, 2014).

#### ***4.1.3.5. Hidrofluorocarbonos (HFC).***

Los hidrofluorocarbonos (HFC) se utilizan en aires acondicionados, bombas de calor, agentes espumantes, extintores de incendios, propelentes en aerosoles, disolventes y en sistemas refrigerantes, estos tienen una gran influencia en el calentamiento global, lo cual hace que sea importante eliminarlo progresivamente (Benavides & León, 2007).

Aunque los HFC no dañan el ozono, es un gas que retiene mucho el calor en la atmósfera de la Tierra, incluso más que el dióxido de carbono, teniendo un ciclo de vida de meses hasta decenas de miles de años (Sostenibilidad para todos, 2012).

#### ***4.1.3.6. Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).***

Los hexafluoruro proceden de los fluidos dieléctricos y equipos eléctricos de alta tensión. Este gas es más pesado que el aire y en ambientes cerrados puede desplazar el oxígeno provocando sofocación en las personas. Este compuesto contribuye al efecto invernadero pero en una concentración extremadamente baja, es decir, menos del 0,1% del efecto total (SF6 Chile, 2015).

#### 4.1.3.7. Perfluorocarbonos (PFC).

La producción primaria de aluminio, la incineración de plásticos y cerámicas y los equipos de refrigeración producen perfluorocarbonos, el cual es un gas que supera en nivel de contaminación al metano y al óxido nitroso, aunque esté en menor proporción en la atmosfera que el CO<sub>2</sub>, tiene un ciclo de vida de hasta decenas de miles de años (Moreno, 2016).

#### 4.2. Emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial

De acuerdo con el 12° balance anual de Global Carbon Project (2017) se generaron 32.600 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq en el mundo, resaltando a China como el país responsable del 28% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), causado por su proceso masivo de industrialización, en segundo lugar se tiene a Estados Unidos con el aporte del 15% de las emisiones, seguido por la Unión Europea con el 10% e India con el 7%, dando un total del 60% de las emisiones mundiales como se evidencia en la figura 1.

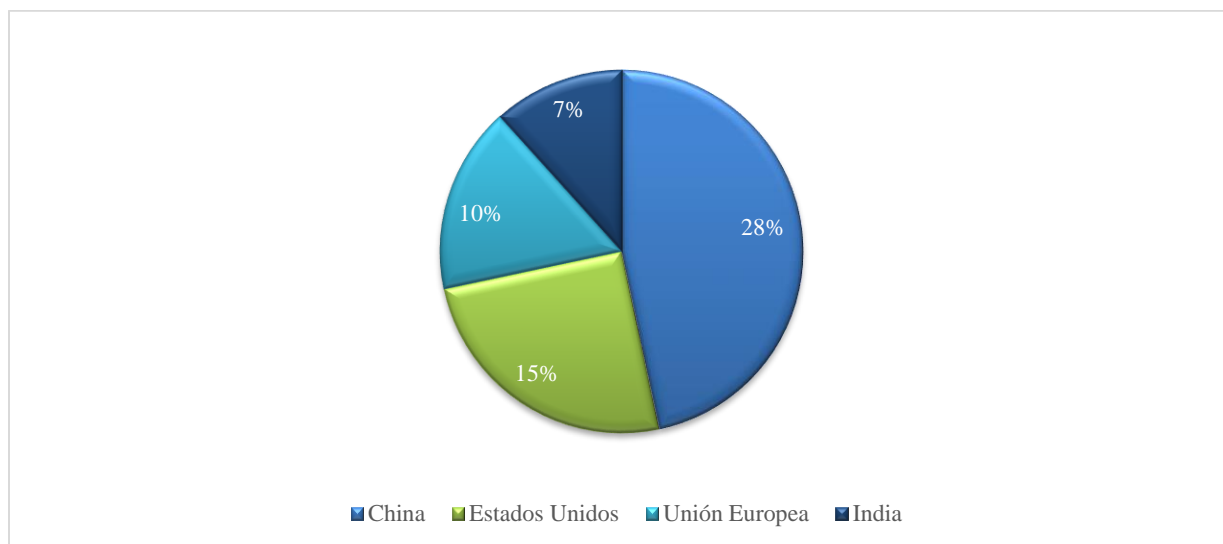


Figura 1. Distribución porcentual de las emisiones de GEI a nivel mundial  
Fuente: Elaboración propia, a partir de (Global Carbon Project, 2017)

Por otra parte, el (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2016) muestra que América Latina y el Caribe emitió el 5% de las emisiones mundiales de GEI, siendo Brasil el principal generador con 486 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (Mton

CO<sub>2</sub>eq), seguido por México con 472 Mton CO<sub>2</sub>eq y en sexto lugar se encuentra Colombia con 258 Mton CO<sub>2</sub>eq.

#### **4.3.Emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia**

Según el IDEAM (2016) en Colombia se tiene como mayor productor de emisiones al departamento de Antioquia, con 23 Mton CO<sub>2</sub>eq, seguidamente se encuentra el departamento de Meta con la generación de 22 Mton CO<sub>2</sub>eq y en tercer lugar, se encuentra Caquetá que emite 20 Mton CO<sub>2</sub>eq, el departamento de Sucre se encuentra en el puesto 26 con una emisión de 3 Mton CO<sub>2</sub>eq, como se evidencia en la figura 2.

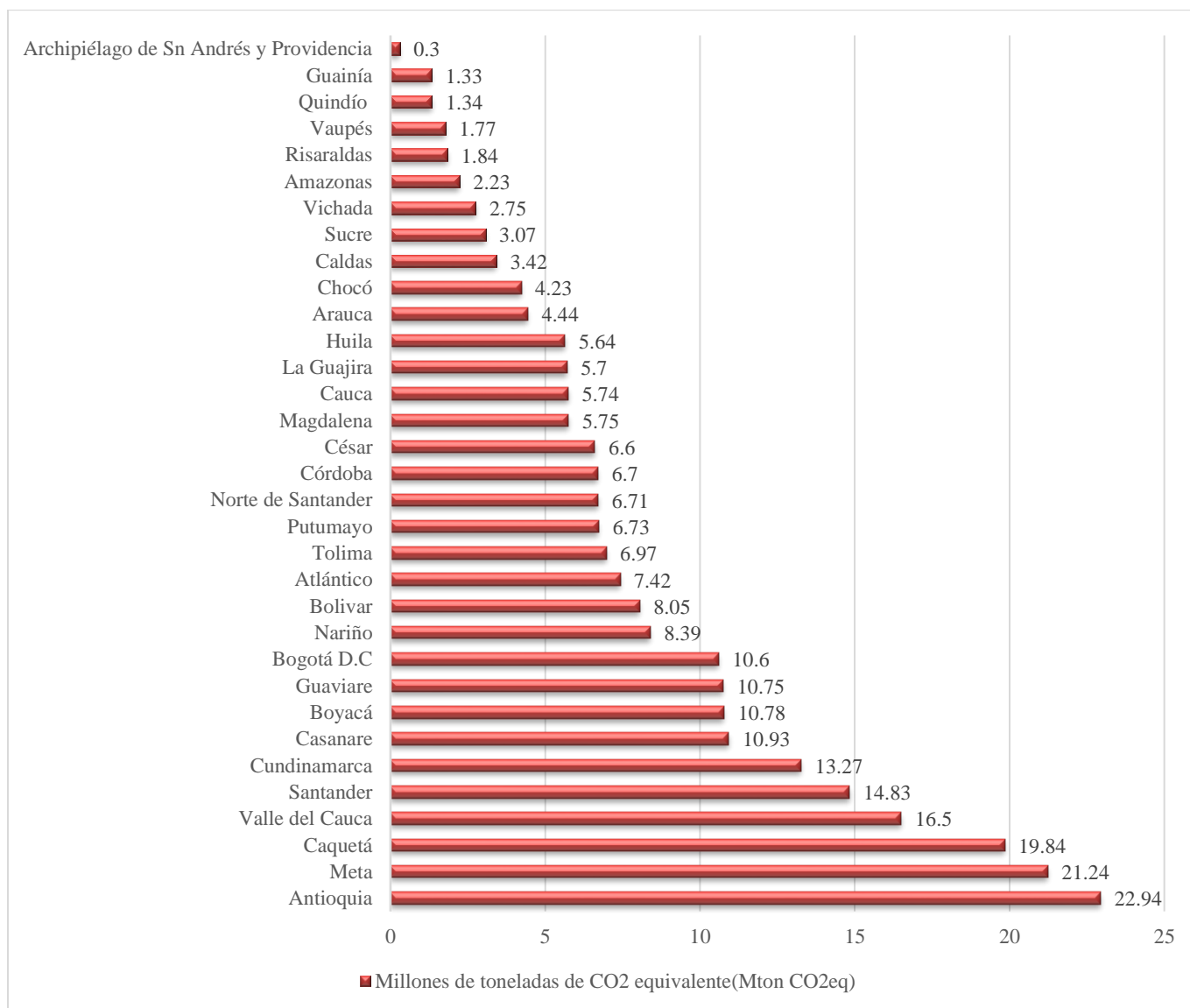


Figura 2. Distribución de emisiones de GEI por departamento en Colombia  
Fuente: Elaboración propia, a partir de (IDEAM, 2016, p. 57)

#### 4.3.1. Emisiones de gases de efecto invernadero por sectores de la economía en Colombia.

De acuerdo con datos generados por el IDEAM (2016) los sectores que aportan al crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia son: el sector forestal con el 36%, el sector agropecuario con un 26%, en tercer lugar se encuentra el sector transporte y el sector de industrias manufactureras, ambos con 11%; por último minas y energías con un 10%,

dando como resultado el 94% de las emisiones del país, el 6% restante se divide entre los demás sectores de la economía, como se puede evidenciar en la figura 3.

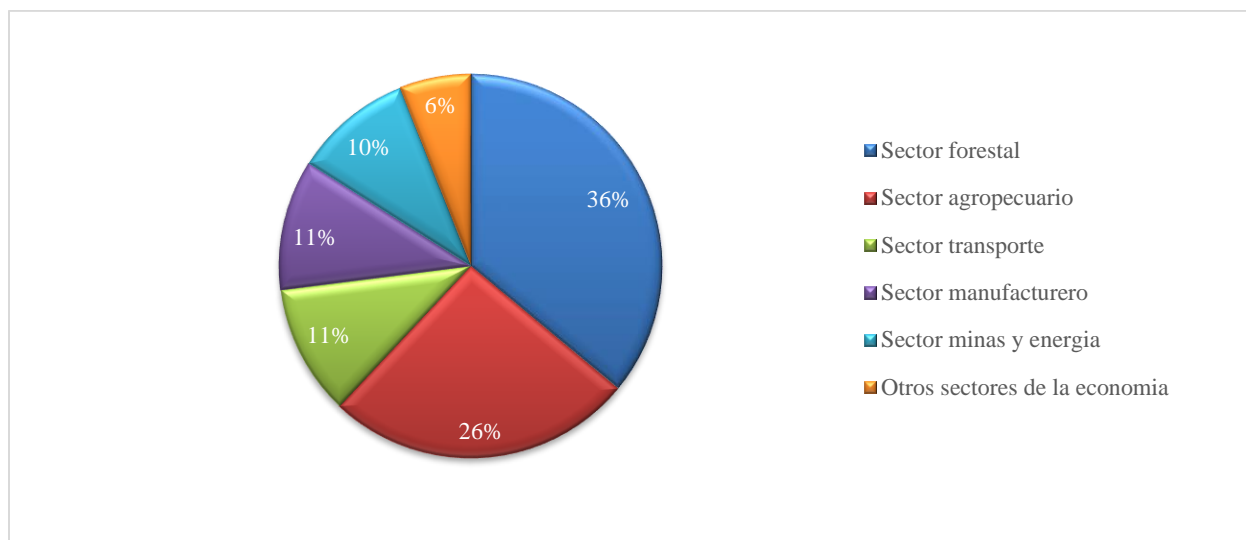


Figura 3. Distribución porcentual de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por sectores económicos en Colombia

Fuente: Elaboración propia a partir de (IDEAM, 2016, p. 52)

#### ***4.3.1.1. Emisiones de gases de efecto invernadero en el departamento de Sucre.***

De acuerdo con lo establecido en la tercera comunicación nacional de cambio climático (2015), la contabilización de las emisiones de GEI en los distintos departamentos de Colombia se realiza debido a que los países pertenecientes a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) deben reportar periódicamente su aporte a la disminución del calentamiento global, esto se hace mediante el indicador de la huella de carbono, el cual ayuda a sumar todas las emisiones de GEI causadas de manera directa o indirecta por las organizaciones, individuos o productos (Feijóo, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, el IDEAM (2016) definió que el departamento de Sucre contiene diversas actividades económicas que generan gases de efecto invernadero, entre esas se encuentran las del sector agropecuario, que genera el 44,61% de las emisiones; seguido de eso se encuentra el sector forestal con el 20,53% de generación de emisiones, el 12,9% provienen de las

industrias manufactureras, el 8,15% del sector transporte y el 13,74% restante se distribuye en los otros sectores de la economía.

Centrándose en el sector manufacturero, el departamento de Sucre se efectúan actividades de fabricación de cemento, producción de alimentos y elaboración de muebles de madera (Cámara de comercio de Sincelejo, 2017), donde se generan un total de 390 mil toneladas de CO<sub>2</sub>eq (IDEAM, 2016, p. 62).

#### **4.4. Análisis de la huella de carbono**

La huella de carbono es una extensión de la huella ecológica desarrollada por William Rees y Mathis Wackernagel, originada en movimientos ambientalistas que cuestionaban el consumo de alimentos que no fueran de origen local, debido a que estos no eran considerados amigables con el ambiente, ya que se hacía uso de transporte desde regiones lejanas, lo que generaban emisiones de gases de efecto invernadero (Reinoso, 2013, p. 3).

Esta herramienta permite cuantificar las emisiones de GEI producidas por un país, organización o individuo. Cabe resaltar que la medición de la huella de carbono (HC) se tiene en cuenta todos los gases de efecto invernadero, no solo el CO<sub>2</sub>, para después convertir los resultados individuales de cada gas en unidades de CO<sub>2</sub>eq (Inhobe S.A, 2009, p. 27). Debido a su amplio alcance, la huella de carbono permite identificar las emisiones directas (combustible usado en la producción y distribución) e indirectas (electricidad consumida por las instalaciones físicas) generadas dentro de las organizaciones (Schneider y Samaniego, 2010, pp. 16-17).

La huella de carbono se ha convertido en un tema central por los consumidores, organizaciones, gobiernos y Organizaciones No Gubernamentales (ONG), siendo utilizado en mayor parte por los países que tienen compromiso con la reducción de sus emisiones, ya que induce a cambios en los patrones competitivos de las empresas, haciendo que aumenten sus utilidades, aunque muchas organizaciones se rehúsan en cuantificar sus emisiones, debido a la preocupación por incurrir en costos extras asociados a la mitigación del impacto ambiental. Pese a lo anterior, es creciente el número de políticos, científicos y grupos sociales, que consideran el



calentamiento global como uno de los mayores desafíos del siglo XXI y ven el cálculo de la huella de carbono como la mejor forma de entender las causas de este problema, para así disminuir sus efectos del cambio climático y fomentar el desarrollo sustentable de los procesos productivos en cada país (Espíndola & Valderrama, 2012).

El CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) concierne a la unidad de medida universal que indica el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en ingles) de cada uno de los GEI provocados por las actividades antropogénicas, que se contabilizan en el inventario de emisiones (PricewaterhouseCoopers, 2016).

#### **4.4.1. Inventario de emisiones.**

Es la cuantificación de la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que son emitidas a la atmosfera como producto de actividades humanas, ocurridas en un país, ciudad, organización o por un producto en determinado periodo de tiempo (IDEAM, 2015, p. 8). En los inventarios de emisiones solo se reportan los gases de efecto invernadero generados de manera antropogénica, es decir, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y Perfluorocarbonos (PFC), debido a que los otros compuestos existentes no pueden ser controlados por razones económicas (SIAC, 2016).

Al cuantificar y comparar con los valores límites de emisión establecidos se utilizará el inventario para establecer prioridades entre las principales fuentes de contaminantes e instaurar medidas de control en caso de sobrepasar los límites para disminuir el impacto ambiental que generan (Spiegel & Maystre, 2012).

#### **4.4.2. Gestión de la contaminación.**

La gestión de la contaminación busca eliminar o reducir hasta niveles aceptables aquellos gases que pueden afectar al ambiente, animales y generar efectos en la salud de las personas como cáncer, irritación, enfermedades respiratorias o exceso de mortalidad (Spiegel y Maystre, 2012, p. 3).

La creciente industrialización de los países como Colombia y sus patrones insostenibles de producción y consumo ocasionan contaminación atmosférica en grandes cantidades y asimismo un alto costo para la sociedad en cuanto a salud. Durante los últimos años el país se ha puesto en la tarea de cuantificar las emisiones de GEI e identificar el principal contribuyente al calentamiento global, avanzando de igual manera en la prevención y control de la contaminación teniendo como pilar el desarrollo sostenible (Valencia, y otros, 2010).

En el caso de las grandes empresas, estas disponen de un departamento encargado de la gestión ambiental, con personal especializado que conocen las regulaciones ambientales que posee el país y las internacionales, debido a que este tipo de empresas se encargan de la realizar productos para exportación, caso contrario ocurre con las Pymes, que desconocen las regulaciones ambientales del país debido a que no tienen un departamento encargado de este aspecto ni personal específico en el tema, además de realizar sus procesos poco amigables con el ambiente (Chudnovsky, López y Freylejer, 1997, pp. 28-29).

#### **4.4.3. Principales metodologías para el cálculo de la huella de carbono.**

Para realizar cuantificar la huella de carbono, tanto de productos como de organizaciones, se presentan tres métodos principales, los cuales recopilan datos de los consumos directos e indirectos de materiales y energía de la organización y los traducen a emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (Millán & Narváez, 2015). Entre esos tres métodos se encuentran: Greenhouse Gas Protocol, ISO 14064-1 y la norma PAS 2050, los cuales se encuentran resumidos en la tabla 1.

##### ***4.4.3.1. Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol).***

El Greenhouse Gas Protocol (GHG protocol) fue la primera herramienta desarrollada para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), desarrollada por (World Resorces Institute (WRI), 2016) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), con el fin de construir un programa para abordar el problema del cambio climático.

El protocolo GHG (2018) proporciona estándares globales y completos para medir, gestionar y realizar acciones de mitigación de las cadenas de valor. Posee una metodología extensa y complicada para evaluar GEI directos, indirectos e indirectos fuera del control de la empresa, mejorando su eficiencia en la cadena de suministros y reduciendo costos en la organización (Estévez, 2013).

#### ***4.4.3.2. ISO 14064-1: Gases de efecto invernadero.***

La (Organización internacional de normalización (ISO), 2006), tomó el anterior procedimiento como referencia y desarrolló la norma ISO 14064-1: Gases de efecto invernadero, donde se exponían conceptos asociados al tema, además de como calcular y gestionar los inventarios de GEI generados por las empresas.

Las ventajas de la norma ISO 14064-1 sobre otras metodologías de cálculo de la huella de carbono es que esta lleva a un reconocimiento internacional de la organización ISO, que certifica la coherencia, transparencia y credibilidad del inventario de GEI realizado por la organización.

Esta metodología identifica las emisiones directas e indirectas, y en algunos casos abarca otras emisiones indirectas, producto de algunos procesos que generen combustión de materiales a base de carbono o transformación química. De igual forma, incluye requisitos y orientaciones para la gestión de la calidad del inventario, informe, auditoría interna y las responsabilidades de la organización en las actividades de verificación (ISO, 2006).

#### ***4.4.3.3. Norma PAS 2050.***

La Norma PAS 2050 permite medir el impacto ambiental de las actividades, productos y servicios de las empresas, mediante el análisis del ciclo de vida (SGS Colombia S.A.S, 2016). Según la empresa Acetite de Oliva Ecológico y Convencional (Olivalle, 2015) esta norma es fundamental para demostrar a los clientes, empleados, accionistas, posibles inversores, grupos medioambientales y medios de comunicación la transparencia del cálculo de la huella de carbono en los procesos de las empresas.

Al implementar la metodología de la norma PAS 2050 para el cálculo de la huella de carbono, explica Efraín Peña (2016) que la empresa Norton Rose Fulbright, firma internacional de asuntos legales presente en Colombia, se ha convertido en “carbono positivo”, es decir que alcanzó a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>eq que generaban sus procesos, esto hace que se mejore la imagen de la empresa frente a clientes e inversionistas, generando mayor utilidades para la organización.

Tabla 1.  
*Visión general de los aspectos específicos de las metodologías PAS 2050, GHG protocol e ISO 14064-1.*

<b>Especificaciones y requisitos</b>	<b>PAS 2050</b>	<b>GHG protocol</b>	<b>ISO 14064-1</b>
Objetivo	Proporcionar especificaciones uniformes para las emisiones de gases de efecto invernadero de bienes y servicios.	Proporcionar directrices detalladas sobre la contabilidad y la presentación de informes	Estandarizar el proceso de cuantificación y la comunicación de emisiones GEI
Etapa del ciclo de vida incluido	De la cuna a la tumba.	De la cuna a la tumba.	De la cuna a la tumba.
	De la cuna a la puerta.	De la cuna a la puerta.	De la cuna a la puerta. De la puerta a la puerta
Destinatarios	Empresas	Entidades gubernamentales	Empresas
	Productos	Empresas	
Limites	Excluye entradas y salidas que generen menos del 1% del total de emisiones; debe incluirse al menos el 95% del ciclo de vida completo del producto.	No existen límites, porque es necesario que el 100% de la información esté completa	No especifica limites
Bienes de inversión	Excluye las maquinarias, equipos y transportes, que son proporcionados por otras empresas para el proceso productivo.	Excluye los bienes de inversión a menos de que sean relevantes en el cálculo de la huella de carbono	Se incluye la evaluación de las maquinarias, equipos y procesos de las empresas que surten de materia prima
Alcance	Emisiones directas	Emisiones directas	Emisiones directas
	Emisiones indirectas	Emisiones indirectas	Emisiones indirectas

Especificaciones y requisitos	PAS 2050	GHG protocol	ISO 14064-1
		Emisiones subsidiarias	Otras emisiones indirectas
Otras exclusiones	Excluye el transporte de los trabajadores a su lugar de trabajo y de los consumidores a los lugares de compra, la energía humana en el proceso productivo y los animales que prestan servicios de transporte.		
Herramientas metodológicas	Guía metodológica paso a paso con formula de emisiones por actividad	Hoja de cálculo Excel con fórmulas ocultas e inmodificables	Ninguna

Fuente: Elaboración propia a partir de (Wang, Wang y Yang, 2018, p. 4)

Tabla 2.

*Cuadro de aplicación en diferentes áreas de la norma PAS 2050*

Autor	Año	Nombre del informe	Desarrollo	Conclusiones
Jiménez Luis, De la cruz José, Carballo Adolfo y Domench Juan.	2010	Enfoque metodológicos para el cálculo de la huella de carbono	Este informe del observatorio de la sostenibilidad en España (OSE), es una guía para las empresas de todo tipo, principalmente las Pymes, que ayuda a dichas empresas a lograr procesos productivos amigables con el medio ambiente, siendo su principal objetivo concientizar a los dueños de las organizaciones sobre las consecuencias de fabricar sus bienes o servicios de manera irresponsable. Asimismo, incentiva a las Pymes a calcular la huella de carbono para conocer su impacto ambiental y reducir sus costes energéticos.	Una de las metodologías más usadas en cuanto a enfoque a producto, a la hora de realizar el cálculo de la huella de carbono es la PAS 2050. En esta guía se explicó detalladamente esta metodología, permitiendo a las empresas conocer la misma y calcular las emisiones de gases de efecto invernadero para implementar medidas para reducir dichas emisiones.

Autor	Año	Nombre del informe	Desarrollo	Conclusiones
Solid Forest y Federación de Asociaciones de Mujeres Rurales (FADEMUR)	2011	Informe ISGEA- Queso de oveja artesanal	Este informe se centra en el cálculo efectivo, transparente e independiente de las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de queso de oveja elaborados de forma tradicional en Puebla Almoradiel, según los parámetros de la norma PAS 2050.	Gracias al análisis realizado mediante la norma PAS 2050 se comprobó que una acción para reducir las emisiones es la contratación de energías procedentes de fuentes renovables, haciendo que se reduzcan el 5% de las emisiones del producto.
Solid Forest y Federación de Asociaciones de Mujeres Rurales (FADEMUR)	2011	Informe ISGEA- Alubia Blanca de riñón	Este informe se centra en el cálculo efectivo, transparente e independiente de las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de Alubia Blanca de Riñón según los parámetros de la norma PAS 2050 con el alcance de B2B	Tras el análisis realizado al proceso productivo de la Alubia Blanca de Riñón mediante el cálculo de la huella de carbono por la norma PAS 2050, se considera que se pueden reducir las emisiones del producto aplicando una conducción más eficiente, reduciendo 10,33 g de CO <sub>2</sub> eq
Wulf, Erico	2012	Impacto de la huella de carbono en la competitividad exportadora regional	Se presenta un análisis del tema, fundamentado en la norma PAS 2050, la cual permite realizar el cálculo de la huella de carbono con ciertas exclusiones.	Para perdurar los mercados, los exportadores locales deben conocer y cuantificar las emisiones asociadas a sus productos y generar acciones de compensación interna.

Autor	Año	Nombre del informe	Desarrollo	Conclusiones
Ambrós Laura, Calabria Ignacio, Ripoll Olatz y Román Elisa.	2012	Criterios de selección de un estándar para la medida de la huella de carbono	En este informe los autores realizaron una comparativa de tres metodologías usadas para calcular la huella de carbono, las cuales son: La ISO 14064, GHG Protocol, PAS 2050. Posteriormente, desarrollaron una herramienta informática que permita escoger la mejor metodología para poder medir, cuantificar y analizar la huella de carbono dependiendo de las características y necesidades que tiene la organización.	Para cada una de las metodologías estudiadas se generaron diversas conclusiones. En el caso de la PAS 2050 esta fue seleccionada por diferentes empresas debido a que esta se puede obtener de manera gratuita en la página del BSI, además esta posee guías, tablas y esquemas que facilitan su implementación. Por el contrario, en el caso de la norma ISO 14067 esta es considerada una de las más difíciles de implementar, debido a que debe adquirirse en entidades certificadoras, suponiendo un costo extra para la organización.
Campos Ariel	2012	Marco general para la medición de la huella de Carbono del arándano en la región de los Ríos, Chile. Estudio de caso.	Esta investigación se centra en la medición de la huella de carbono en la producción y comercialización del arándano, para eso se utilizaron las normas internacionales ISO 14064, GHG Protocol y PAS 2050, con el objetivo de escoger la más apropiada para medir la huella de carbono en un producto.	Entre las tres metodologías seleccionadas para calcular la huella de carbono en la producción y comercialización del arándano se escogió la metodología PAS 2050 como la mejor para determinar el impacto ambiental de los productos agrícolas, siendo la quema de residuos, el uso de combustibles, el consumo de energía eléctrica y los insumos (fertilizantes, plaguicidas, gases refrigerantes y conservantes) son las principales fuentes de contaminación.



Autor	Año	Nombre del informe	Desarrollo	Conclusiones
Bravo Jorge, Contreras María	2017	Diseño de estrategias para la disminución o reducción del impacto ambiental generado por la extracción de materiales agregados para la construcción en el municipio de Toluvejo - Sucre	En esta investigación se estimó la huella de carbono generada por la empresa Agregados de Sucre S.A.S aplicando la metodología PAS 2050. En primer lugar se desarrolló la caracterización de los procesos que se ejecutan en la empresa, posteriormente se realizó el cálculo de la huella teniendo en cuenta los factores de emisión de combustibles y energías, teniendo como resultado que la empresa emite 9,6850 KgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> a la atmosfera.	Entre las conclusiones dadas por esta investigación está que la metodología PAS 2050 permitió que la empresa pudiera identificar las emisiones en la empresa Agregados de Sucre S.A.S. Con dicha metodología se detallaron las etapas del proceso productivo de la arena encontrando la operación con mayor generación de emisiones, lo que contribuyó a gestar recomendaciones para minimizar el impacto ambiental de la empresa.
Shanshan Wang, Weifeng Wang, Hongqiang Yang	2018	Comparison of Product Carbon Footprint Protocols: Case Study on Medium-Density Fiberboard in China	Esta investigación evalúa el ciclo de vida de la cuna a la puerta para el tablero de fibra de densidad media (MDF) con el protocolo GHG, la norma PAS 2050 e ISO 14067 para identificar las oportunidades de mejorar la producción de MDF	Al realizar la comparación de los tres métodos, un hallazgo clave es que para evaluar la huella de carbono de la MDF y otro productos forestales se recomienda la utilización de la norma PAS 2050, ya que esta proporciona una guía más específica sobre los criterios de corte y otras reglas de exclusión, que no son establecidas en la GHG protocol ni en la ISO 14067
Guallasamin Karina y Simón Débora	2018	Huella de carbono del cultivo de rosas en Ecuador comparando dos metodologías: GHG Protocol vs PAS 2050	Las ventas de rosas a nivel internacional requieren tener certificaciones y etiquetados ambientales, por lo tanto Ecoroses S.A. hace importante realizar el cálculo de la huella de carbono mediante las metodologías GHG Protocol y PAS 2050, debido a que son las más ampliamente utilizadas y reconocidas en el mundo.	Esta investigación arroja que en términos prácticos, aunque los resultados de GHG Protocol y PAS 2050 son similares, el cálculo de la huella con la norma PAS 2050 resulta ser más rápido y directo, puesto que no requiere clasificación por tipos de alcances, evitando errores de doble contabilidad de emisiones.

---

Autor	Año	Nombre del informe	Desarrollo	Conclusiones
Quintana Carlos	2018	Cálculo de la huella de carbono de vehículos utilitarios mediante el análisis del ciclo de vida	En esta investigación se quiere identificar cuál de las tecnologías utilizadas en los vehículos es la más eficiente desde el punto de vista del impacto generado sobre el cambio climático, por lo tanto se calculará la huella de carbono mediante la directrices de la norma PAS 2050	Al realizar la comparación entre los diferentes tipos de vehículos, se concluyó que los vehículos eléctricos presentan una menor cantidad de impacto ambiental en relación con los vehículos funcionados con gasolina, diésel, vehículos híbridos y vehículos híbridos enchufables. Asimismo, cabe resaltar que los vehículos híbridos enchufables son los que mayor contaminación emiten, ya que necesitan una propulsión eléctrica mayor y manteniendo de igual forma el sistema de combustión interna.

---

Fuente: Elaboración propia

#### **4.5. Metodologías de evaluación y decisión multicriterio discreta**

La búsqueda por resolver los distintos problemas presentes en las empresas ha contribuido a adoptar metodologías para la toma de decisiones en escenarios donde se manejan múltiples criterios de selección. Por lo tanto, se crean metodologías que abarcan infinitas o finitas alternativas de solución, en este caso por el tipo de investigación se enfocará en las alternativas finitas, utilizando las metodologías de evaluación y decisión multicriterio discreta, las cuales encierran la ponderación lineal (scoring), utilidad multiatributo (MAUT), relaciones de superación y evaluación jerárquica de estrategias (AHP) (Avila, 2000).

##### **4.5.1. Ponderación lineal (Scoring).**

El método de ponderación lineal permite evaluar situaciones con pocos niveles de información, obteniendo una puntuación global por la suma de las contribuciones obtenidas de cada atributo (Berumen & Llamazares, 2007). En el caso de tener varios criterios con diferentes escalas que no se pueden sumar directamente, se requiere un proceso de normalización para poder realizar la suma de los atributos (Avila, 2000).

##### **4.5.2. Utilidad multiatributo (MAUT).**

El método de utilidad multiatributo (MAUT) estima para cada atributo una función de utilidad parcial, basada en el punto de vista de las personas responsables de tomar las decisiones, esto con el fin de maximizar una función que contenga todos los puntos de vista relevantes del problema (Berumen & Llamazares, 2007).

##### **4.5.3. Relaciones de superación.**

En esta metodología se utilizan las combinaciones binarias para realizar comparaciones de dos alternativas, criterio por criterio, esto con el fin de construir un coeficiente de concordancia asociado a cada par de alternativas (Avila, 2000). De esta metodología se desarrollaron diversos procedimientos complementarios como Electre y Promethee, los buscan una solución, que sin ser óptima, pueda ser satisfactoria para el problema central (Berumen & Llamazares, 2007).

#### **4.5.4. Evaluación jerárquica de estrategias (AHP).**

El método de evaluación jerárquica de estrategias (AHP) busca optimizar la toma de decisiones complejas de múltiples criterios o estrategias, mediante una estructura jerárquica que establece valores a cada estrategia o criterio, haciendo que se comparen uno a uno (Berumen & Llamazares, 2007). Luego de otorgar los pesos es importante otorgar una medida global de consistencia de la matriz, que permite valorar la coherencia y pertinencia de los criterios o estrategias (Ramirez, 2000).

#### **4.6. Metodologías aplicadas a la investigación**

Las metodologías de investigación son herramientas que contribuyen a la guía del proyecto, tanto desde el aspecto cuantitativo por el cálculo de la huella de carbono y la aplicabilidad del método matricial descrito dentro de la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias (AHP), como en lo cualitativo que encierra la caracterización de la cadena productiva, la descripción de los procesos de fabricación de los muebles de madera y la generalización de las estrategias.

Dentro de las metodologías más destacadas para la medición de la huella de carbono se encuentran: Greenhouse Gas Protocol (GHG protocol), ISO 14064-1 y la norma PAS 2050, siendo esta última la que se va a utilizar en la investigación, debido a que la empresa Legno's busca un método claro y consistente para cuantificar el impacto ambiental que generan sus procesos, y esta norma permite realizar los cálculos de la huella de carbono de manera rápida y directa, evaluando las actividades principales del proceso (Guallasamin & Dimón, 2018). Cabe resaltar que por lo pronto a la empresa no le interesa certificarse ambientalmente, solo conocer su impacto, ya que no cuentan con un presupuesto para realizar los trámites correspondientes, por lo tanto, no es necesario seguir la metodología de la ISO 14064-1 ni el de GHG protocol.

La norma PAS 2050 representa un mecanismo para abordar problemas y aportar soluciones rápidas a la empresa, ya que precisa de menos tiempo de elaboración, además esta metodología ha sido aplicada en diversos sectores de la economía, los cuales arrojan resultados satisfactorios para

las organizaciones que la emplearon, como se evidencia en la tabla 2, demostrando a su vez la ventaja que posee esta norma frente a otras metodologías como la ISO 14064-1 y la GHG protocol.

Para el caso del diseño de las estrategias de disminución del impacto ambiental se aplicará la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias (AHP) porque permite ponderar el riesgo y elegir la decisión que resulta ser más satisfactoria para disminuir las emisiones de GEI que emite la empresa, además de facilitar la objetividad del proceso y reducir el uso de la intuición en la toma de decisiones (Berumen y Llamazares, 2007, p. 67). La metodología AHP presentado muchos casos de éxito en diferentes organizaciones públicas y privadas para la toma de decisiones y planificación de estrategias, entre las más importantes están: Citibank, Kodak, General Electric y General Motors (Contreras, 2010).

#### **4.6.1. Metodología Publicly Available Specification (PAS) 2050.**

Para conocer la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que se emiten a la atmosfera, se han venido desarrollando metodologías estandarizadas para realizar inventarios de las emisiones como la metodología PAS 2050, siendo esta una de las principales herramientas para orientar la toma de decisiones para el diseño de estrategias de mitigación que permitan reducir las emisiones de los GEI (IDEAM, 2016).

La norma PAS 2050 es desarrollada por (British Standards Institution (BSI), 2008) y copatrocinada por Carbon Trust y el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (Defra) para evaluar los GEI producidos por una organización en términos de CO<sub>2</sub>eq, analizando el ciclo de vida los productos. Este método de evaluación proporciona a las empresas:

- Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero proporcionado por el ciclo de vida del producto.
- Ayuda para configurar productos alternativos, opciones operativas, de abastecimiento o de transporte teniendo en cuenta el impacto ambiental que generen sus productos.
- Un punto de referencia para medir los gases de efecto invernadero y evaluar métodos de reducción.

- Una mejor imagen ante la clientela.
- Soporte para el reporte de responsabilidad social corporativa (RSC).

Para una correcta aplicación de la metodología PAS 2050 la guía se estructura en tres secciones: puesta en marcha, cálculos de la huella del producto y pasos siguientes.

#### ***4.6.1.1. Puesta en marcha.***

Esta sección abarca los pasos iniciales para la implementación de la norma PAS 2050 de una manera rápida y efectiva.

##### *4.6.1.1.1. Seleccionar objetivos.*

El objetivo principal de aplicar esta metodología para las empresas es reducir las emisiones de GEI en alguna actividad específica. Sin embargo, la empresa puede trazarse a partir de eso unos objetivos específicos relacionados con su actividad, el número de productos seleccionados y el nivel de compromiso de sus colaboradores (BSI, 2008, pp. 3-4).

##### *4.6.1.1.2. Selección de productos.*

En esta parte se identifican y seleccionan los productos que cumplen con los objetivos establecidos por la empresa, estos deben relacionarse muy bien para posteriormente definir correctamente el alcance (BSI, 2008, p. 5).

##### *4.6.1.1.3. Atraer a los proveedores.*

El análisis de los proveedores es un punto esencial para entender el ciclo de vida del producto, debido a que conocer quienes proveen a las empresas de la materia prima necesaria para la fabricación de sus productos contribuye a que se creen metas conjuntas para disminuir las emisiones de GEI, también se pueden identificar oportunidades de cambio correspondiente a materiales que aumenten la huella de carbono de la empresa (BSI, 2008, p. 6).

#### 4.6.1.2. Cálculos de la huella del producto.

La metodología del PAS 2050 se enfoca en la evaluación del ciclo de vida del producto para determinar la cantidad de emisiones de GEI asociadas a los productos o servicios que produce la empresa, lo que ayuda a minimizar el impacto ambiental en el sistema productivo (BSI, 2008, p. 6). Para realizar el cálculo de la huella de carbono en los productos se tiene en cuenta los principios establecidos en la figura 4.

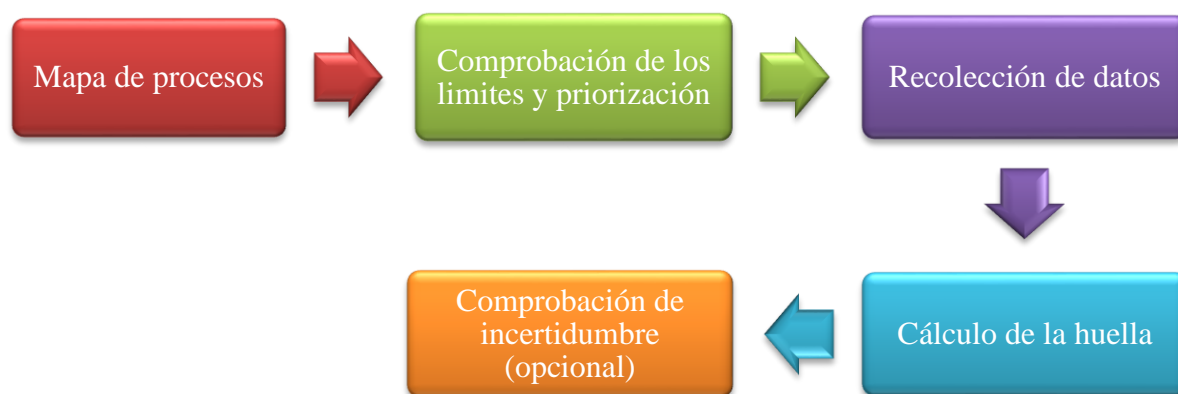


Figura 4. Cinco pasos para calcular la huella de carbono

Fuente: Elaboración propia a partir de (British Standards Institution (BSI), 2008)

##### 4.6.1.2.1. Mapa de procesos.

El objetivo de este paso es identificar todos los materiales, procesos y actividades que contribuyen en la fabricación del producto. Elaborar el mapa de procesos sirve como punto para la recolección de datos que posteriormente servirán para el cálculo de la huella, donde se debe identificar los insumos, procesos de fabricación, condiciones de almacenamiento y necesidades de transporte (BSI, 2008, pp. 7-8).

##### 4.6.1.2.2. Comprobación de los límites y priorización.

El límite define el alcance de la huella de carbono de los productos o servicios que maneje la empresa, es decir, las etapas del ciclo de vida, entradas y salidas del proceso, excluyendo los

que generen menos del 1% del total de emisiones (BSI, 2008, p. 10). Para definir los límites de la investigación se debe tener en cuenta dos tipos de análisis de ciclos de vida:

- **Business to Business (B2B):** Considera la entrega del producto al cliente como el punto final del ciclo de vida, consiste en el sistema de la cuna a la puerta.
- **Business to Customer (B2C):** Este aspecto considera el final del ciclo de vida el punto donde se le entrega el producto o servicio a otra organización para que este lo utilice como insumo y desarrolle un nuevo producto.

Por otra parte, la priorización define que insumos o procesos son realmente importantes de evaluar y cuales se deben desechar por no tener datos relevantes para el cálculo de la huella de carbono (BSI, 2008, pp. 13-14).

#### *4.6.1.2.3. Recolección de datos.*

Los datos que se van a recolectar deben ser lo más específicos posibles para evaluar la huella de carbono con más detalle, para esto se tiene en cuenta el tipo de dato y las fuentes de datos (BSI, 2008, pp. 15-18).

- **Tipos de datos:** Existen dos tipos de datos para calcular la huella de carbono, los datos primarios que se refieren a las mediciones directas realizadas en la cadena de suministros del producto y los datos secundarios que son las mediciones externas que no son específicas del producto (BSI, 2008, p. 15).
- **Fuentes de datos:** Se recomienda utilizar bases de datos relevantes para proporcionar veracidad a la investigación como las bases de datos de ciclos de vida multisectoriales, bases de datos específicas de la empresa, o provenientes de agencias gubernamentales de cada país (BSI, 2008, p. 16).



#### 4.6.1.2.4. *Cálculo de la huella.*

La ecuación 1 representa el cálculo de las emisiones teniendo en cuenta los datos de la actividad y el factor de emisión.

Ecuación 1. Cálculo de emisiones

$$\text{Emisión} = \text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

- **Dato de actividad:** Hace referencia a todas las cantidades de energía y materiales que intervienen en el ciclo de vida del producto (BSI, 2008, p. 15).
- **Factor de emisión:** Es un valor representativo que convierte las cantidades proporcionadas en el dato de actividad en emisiones de gases de efecto invernadero resultantes (IDEAM, 2016, p. 9).

El cálculo de la huella de carbono requiere un balance de masa, que corresponde a la cuantificación de todos los materiales dentro y fuera del proceso, esto para confirmar que todos los materiales han sido contados completamente (BSI, 2008, p. 19).

#### 4.6.1.2.5. *Comprobación de incertidumbre (opcional).*

La comprobación de la incertidumbre es un paso opcional, que sirve para verificar la precisión de los datos con el fin de obtener resultados más fiables en la investigación. La incertidumbre se logra reducir utilizando datos primarios reales de buena calidad para sustituir los datos secundarios ya que los primeros son más exactos, también se puede estimar cada tramo de manera individual para reducir los márgenes de error al calcular la huella de carbono (BSI, 2008, p. 31).

#### ***4.6.1.3. Pasos siguientes.***

Luego de calcular la huella de carbono, dependiendo de los objetivos trazados por la empresa, existen varias acciones para guiar un análisis de alto nivel para proporcionar mayor confianza en la toma de decisiones internas (BSI, 2008, p. 31).

##### *4.6.1.3.1. Validación de resultados.*

La norma PAS 2050 especifica tres niveles para validar los resultados, estos pretenden principalmente de a quienes se les va a comunicar los resultados.

- **Certificación:** El auditor revisará el proceso empleado para el cálculo de la huella de carbono, asimismo verificará la fuente de datos y certificará si la evaluación ha generado conformidad (BSI, 2008, p. 32).
- **Verificación por parte de terceros:** Estas son personas no acreditadas encargadas de demostrar el cumplimiento de la norma, este enfoque no logra el nivel de confianza que establece la certificación (BSI, 2008, p. 32).
- **Autoverificación:** Esta forma es más de uso interno, donde la empresa evalúa sus procesos a ver cuáles son los que mayor emisión generan y como pueden disminuirlos (BSI, 2008, p. 32).

##### *4.6.1.3.2. Reducción de emisiones.*

Otra actividad que se puede realizar luego del cálculo de la huella de carbono es la reducción de emisiones, identificando en cual fase del ciclo de vida del producto es mayor el número de emisiones de GEI. La reducción de emisiones se realiza con el fin de realizar ahorros en costos, reduciendo el consumo de energía y combustibles o residuos (BSI, 2008, pp. 32-33).

##### *4.6.1.3.3. Comunicar la huella y reclamar reducciones.*

Esto sirve más que todo para mostrar a los clientes el compromiso ambiental que tiene la empresa en la fabricación de sus productos o servicios, a través de información suministrada en el empaque del producto, sitio web, folletos u algún otro medio de comunicación. Además, se debe

divulgar la información por medio de conferencias y encuentros con los empleados, socios y proveedores para que ellos se unan a la conciencia ambiental que genera la empresa (BSI, 2008, p. 34).

#### **4.6.2. Metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias – AHP.**

La toma de decisiones, es un pilar importante a la hora de cambiar el rumbo de una organización. Hoy en día para realizar este proceso, es importante usar métodos para la evaluación de estrategias que proporcionen una base para asumir dicha decisión (Berumen & Llamazares, 2007). Por ello se han creado una serie de metodologías de decisión multicriterio, entre las que se encuentran el análisis jerárquico (AHP), siendo este uno de los más usados en empresas de todo el mundo por su fácil aplicación y claridad en los resultados.

El AHP (Analytic Hierarchy Process), es una metodología desarrollada por el profesor Thomas L. Saaty, que busca descomponer problemáticas presentes en una organización en componentes simples que puedan ser ordenados jerárquicamente, donde se asignarán valores numéricos, para determinar que variable tiene la más alta prioridad (Contreras, 2010).

La primera etapa establecida por la metodología AHP requiere que se proporcionen criterios de evaluación que tendrán una importancia relativa dada por los investigadores. En esta fase se identifica el problema, se establece el objetivo y se construye un modelo jerárquico conformado por tres niveles, los cuales son: las metas, los criterios y las alternativas (Cabello, 2017, p. 9).

En la segunda etapa se valoran los criterios a través de una comparación por pares en una matriz cuadrada, positiva y recíproca (Cabello, 2017, p. 10). Además, se establecen valores para cada uno de esos criterios utilizando la escala de medición propuesta por Saaty como lo evidencia la tabla 3.

Tabla 3.

*Escala de la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias(AHP)*

<b>Escala numérica</b>	<b>Escala verbal</b>
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia.
2	Entre igualmente y moderadamente preferible
3	Moderadamente preferible
4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
5	Fuertemente preferible
6	Entre fuertemente y muy fuertemente preferible
7	Muy fuertemente preferible
8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible
9	Extremadamente preferible

Fuente: Tomado de (Hurtado &amp; Gérard, 2005)

Por último, se discuten los resultados arrojados por la matriz, teniendo en cuenta los valores adquiridos para cada criterio, definiendo prioridades para poder tomar las decisiones correspondientes.

## 5. Metodología

El presente estudio es de carácter mixto, es decir, que analiza y vincula datos cualitativos y cuantitativos en una misma investigación. La perspectiva de esta investigación se evaluó de manera cualitativa por la caracterización de la empresa y sus procesos productivos, además de la definición de las alternativas para la mitigación del impacto ambiental en la organización. Por otro lado, se determinó una estimación cuantitativa mediante el cálculo de la huella de carbono y en la utilización de la metodología multicriterio para la evaluación jerárquica de estrategias, la cual utiliza ponderaciones y métodos matriciales. Cabe resaltar que todos estos pasos metodológicos se llevaron a cabo en la empresa Legno's, ubicada en la ciudad de Sincelejo, Sucre, Colombia.

Metodológicamente el proyecto se realizó en 3 fases, las cuales se relacionan a continuación:

- **Fase 1:** Caracterización de los procesos de fabricación de los muebles de madera.
- **Fase 2:** Cálculo de la huella de carbono para la elaboración de los muebles de madera
- **Fase 3:** Planteamiento de alternativas que contribuyan a la disminución de impactos ambientales.

### 5.1. Fase 1: Caracterización de los procesos de fabricación de los muebles de madera

En esta primera fase de la metodología se caracterizó la empresa Legno's y el proceso de fabricación de muebles de madera junto con las entradas y salidas del sistema. Esto se desarrolló de la siguiente manera:

- Visitas programadas a la empresa.
- Observación directa de los procesos de fabricación de muebles de madera.
- Descripción de la empresa, productos que elaboran y proceso productivo.
- Descripción de las estaciones de trabajo.
- Diseño y descripción de la cadena de suministros de muebles de madera.

## **5.2. Fase 2: Cálculo de la huella de carbono para la elaboración de los muebles de madera**

En esta fase se calcularon las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que son generadas en las etapas de fabricación de los muebles de madera, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Diseño de mapa de procesos
- Comprobación de límites y priorización.
- Recolección de datos (Toma de tiempos del proceso productivo, cantidad de energía y/o combustible utilizado).
- Cálculo de la huella de carbono para los productos de madera (definida en toneladas de CO<sub>2</sub>eq).

Después de calcular la huella de carbono con la metodología PAS 2050, se identificó las emisiones que genera cada una de las operaciones dentro del proceso de fabricación de muebles de madera.

## **5.3. Fase 3: Planteamiento de alternativas que contribuyan a la disminución de impacto ambiental.**

En esta etapa se construyeron tres alternativas por cada operación, la cual una de ellas será seleccionada de manera objetiva, siendo esta la más viable para la empresa y que a su vez pueda contribuir en mayor grado a minimizar el impacto ambiental de la misma. Esta fase se fundamentó de la siguiente manera:

- Modelamiento del problema
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico
- Matriz de comparaciones pareadas entre los elementos
- Ranking de las alternativas
- Síntesis

## 6. Resultados

### 6.1. Caracterización de la empresa Legno's S.A.S

Legno's es una empresa especializada en la fabricación y comercialización de muebles de madera. Su estilo contemporáneo e innovador ha permitido que esta organización se posicione en el mercado como una marca confiable y de calidad. Fue fundada en el año 2008 bajo el nombre de Business Solutions LTDA, pero siete años después, gracias a la unión de esta organización con su aliado comercial "Mueblería Alean", nace oficialmente la firma Legno's S.A.S.

Con esta unión se reforzaron los procesos de fabricación de la empresa, gracias al empleo de talento humano idóneo y materiales de excelente calidad, lo cual permitió el posicionamiento de la misma en la mente de sus clientes. Hoy en día la empresa Legno's se encuentra ubicada en el barrio la vega del municipio de Sincelejo como se puede evidenciar en la figura 5, posee más de 650 metros cuadrados de superficie que integran las áreas de producción y administrativa.

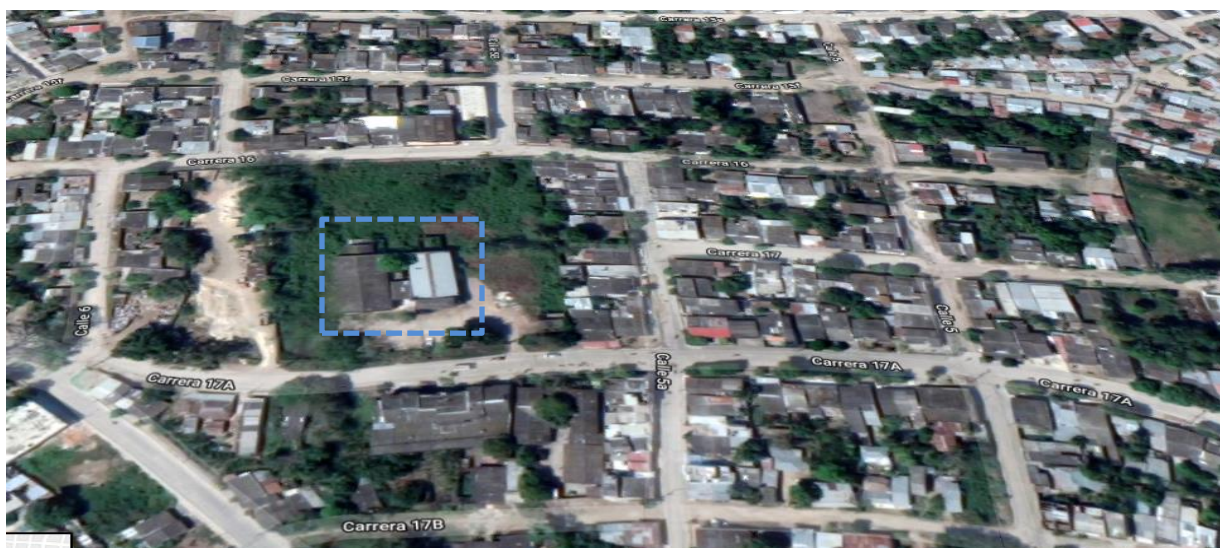


Figura 5. Vista superior de la ubicación de la empresa Legno's  
Fuente: Tomado de Google Maps (2019)

### **6.1.1. Misión.**

Mejorar la comodidad y calidad de vida de nuestros clientes, poniendo a su disposición productos modernos e innovadores que ambienten sus hogares; a través del empleo de materiales, herramientas y personal competente y comprometido que permitan ofrecer muebles de calidad sin afectar el medio ambiente, con el fin de seguir vigentes en el mercado.

### **6.1.2. Visión.**

Ser la empresa líder a nivel nacional en la fabricación y distribución de muebles de madera, garantizando el crecimiento de la organización, el desarrollo eficiente de sus procesos y la satisfacción de las necesidades de nuestros clientes.

### **6.1.3. Imago tipo.**

La empresa proporciona una imagen corporativa que consta de una representación gráfica de la marca y el nombre junto al icono como se evidencia en la figura 6.



*Figura 6.* Imago tipo de Legno's  
Fuente: Tomado de (Salazar, 2018)

### **6.1.4. Productos que fabrica la empresa Legno's.**

Esta empresa elabora dos tipos de mobiliarios (para el hogar y para la oficina) usando materiales como madera (teca, roble, cedro y pino) y la melamina (aglomerado de madera). Es



necesario destacar que los muebles se fabrican por piezas y luego son ensamblados, por eso se evidencia la columna cantidad de piezas en las tablas 4 y 5.

Tabla 4.

*Referencias de muebles para el hogar fabricados en Legno's*

<b>Clasificación</b>	<b>Producto</b>	<b>Tipo de madera</b>	<b>Cantidad de piezas</b>
Muebles para el hogar	Sillas de comedor	Teca	11
	Mesas de comedor	Roble	9
	Mesas de centro	Teca	9
	Sofás	Teca	29
	Sofá camas	Teca	68
	Sillas de bar	Roble	16
	Closet	Cedro/ Melamina	11
	Puertas	Teca/ Melamina	4
	Camas	Roble	12
	Muebles de juguetes	Pino	18
	Repisas	Teca/ Melamina	7
	Centros de entretenimiento	Pino	21
	Dispensas	Teca/ Melamina	11
	Mesa de noche	Pino/ Melamina	12
	Cunas	Roble	31
	Gabinetes para baño	Teca/ Melamina	9
	Gabinetes para cocina	Teca/ Melamina	6
	Cajoneras	Pino	30
	Zapateras	Pino	9
	Puff	Teca	12
Luminarias	Cedro	6	
Mesas de jardín	Teca	4	
Sillas de jardín	Teca	20	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.  
Referencias de muebles para la oficina fabricados en Legno's

Clasificación	Producto	Tipo de madera	Cantidad de piezas
Muebles para la oficina	Librerías	Cedro/ Melamina	12
	Escritorios	Teca/ Melamina	22
	Archivadores	Teca/ Melamina	17
	Repisas	Teca/ Melamina	7
	Gabinetes	Teca/ Melamina	12
	Sillas	Teca	10
	Mesas de juntas	Teca	19

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.5. Descripción de áreas de trabajo.

Las áreas de trabajo se encuentran distribuidas como lo mostrado en la figura 7, esto con el fin de tener un flujo continuo de los materiales y a su vez garantizar las condiciones óptimas de seguridad y bienestar de los trabajadores. A continuación, se describen cada una de las estaciones de trabajo que posee la empresa Legno's.

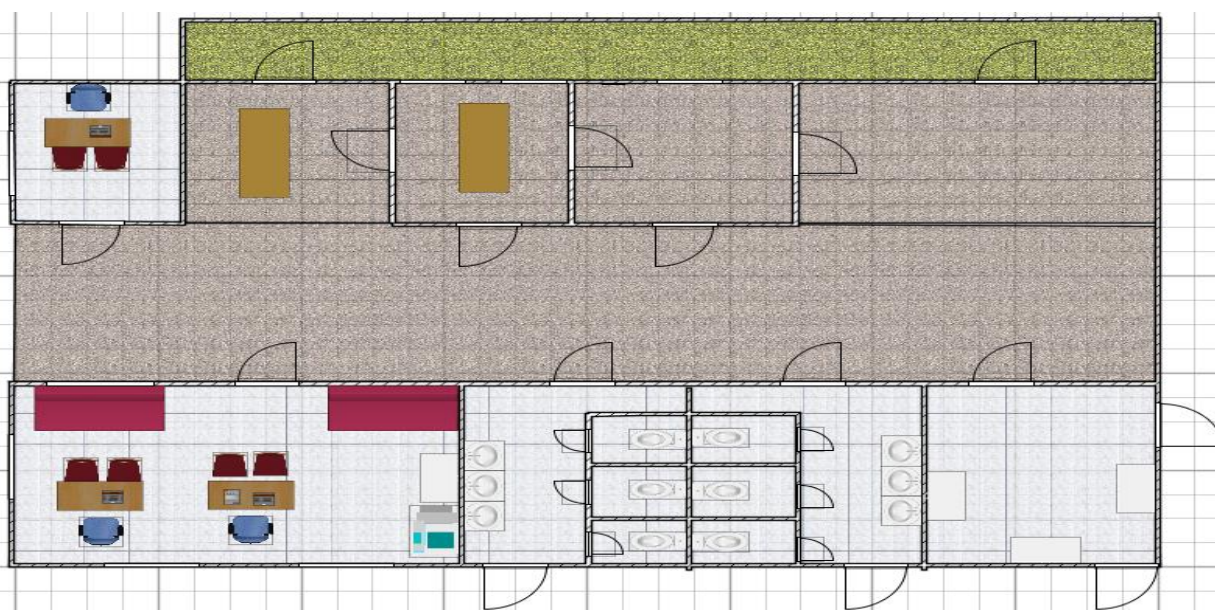


Figura 7. Diagrama 2D de la empresa Legno's  
Fuente: Elaboración propia

#### ***6.1.5.1. Recepción de materia prima y cargue de productos terminados.***

Esta estación de trabajo corresponde a las vías de acceso para los camiones de los proveedores, y un espacio donde se ubicará la materia prima (madera, tornillos, clavos, u algún otro insumo) que se necesite para la fabricación de los muebles de madera en la empresa. El piso es de concreto por el tráfico vehicular pesado que posee esta área.

El área debe estar despejada de personal que no corresponda a esa actividad, para evitar accidentes. De igual manera, en esta zona también se realiza el cargue de los camiones para la distribución de los productos terminados.

#### ***6.1.5.2. Diseño.***

En el área del diseño se realizan todos los modelos que se van a fabricar dependiendo de las peticiones del cliente. En esta estación de trabajo se tiene una mesa para dibujo a mano alzada y un computador con impresora para las respectivas cotizaciones. El piso de esta área es de cerámica debido a que esta área se utiliza para el contacto directo con los clientes.

#### ***6.1.5.3. Corte.***

Corresponde a la parte “sucia” de la empresa, debido a la cantidad de residuos que se emanan de los tableros (aserrín y trozos de madera), contiene maquinaria, herramientas eléctricas y una mesa para apoyo. El piso de esta área es de concreto debido a que este tiene una alta resistencia y duración.

#### ***6.1.5.4. Ensamble.***

La estación de ensamble es una de las áreas más grandes de la empresa, en esta se tiene a la mano todas las herramientas necesarias para el armado de los muebles. El piso de esta área es de concreto debido a que este tiene una alta resistencia para la colocación de todas las piezas y muebles sin importar su peso.

#### ***6.1.5.5. Pintura.***

El área de pintura es un cuarto aislado para evitar que la humedad del ambiente y las lluvias deterioren el trabajo, aquí se encuentran los compresores de pintura, barnices, brochas y rodillos. Asimismo, como el área de corte, está se encuentra lejos de las dependencias administrativas para evitar el daño a la salud de los trabajadores por el uso de sopletes.

#### ***6.1.5.6. Secado.***

La sección de secado en la empresa es un cuarto cerrado para evitar que cualquier material de suciedad se adhiera a la pintura.

#### ***6.1.5.7. Oficinas administrativas.***

En esta área se ubican a todas las dependencias que corresponde al manejo de la empresa (talento humano, gerencia, contaduría), debe estar dotadas de sillas ergonómicas, escritorios y equipos de cómputo.

#### ***6.1.5.8. Servicios sanitarios.***

Se encuentran los baños tanto el personal administrativo como el de producción. Esta área tiene lavamanos e inodoros suficientes para cumplir con las necesidades de los empleados, ubicándose en una zona de fácil acceso para todos.

#### ***6.1.5.9. Oficios varios.***

El área de oficios varios se encuentra junto a los baños y alejada de la zona de producción para evitar que agentes externos interactúen con el producto y logren dañar la pintura o la madera.

#### 6.1.5.10. Desechos.

El área de desechos es el lugar donde se ubican todos los sobrantes de los muebles, es decir, los trozos de madera cortada y el aserrín, esta estación se ubica en las afueras de la fábrica para evitar que estos elementos interfieran con la salud de los trabajadores.

#### 6.1.6. Estructura de la cadena de abastecimientos de los muebles de madera en la empresa Legno's.

En la figura 8 se evidencia la cadena de abastecimientos de la empresa, la cual es el medio que ayuda a analizar las funciones que conciernen al suministro, conversión y distribución de los productos de madera, además de ayudar a definir el límite del cálculo de la huella de carbono. Esta incluye el flujo de información para evitar demoras en la línea de producción, apoyo administrativo para la compra de insumos y retroalimentación para evidenciar las fallas en el proceso.

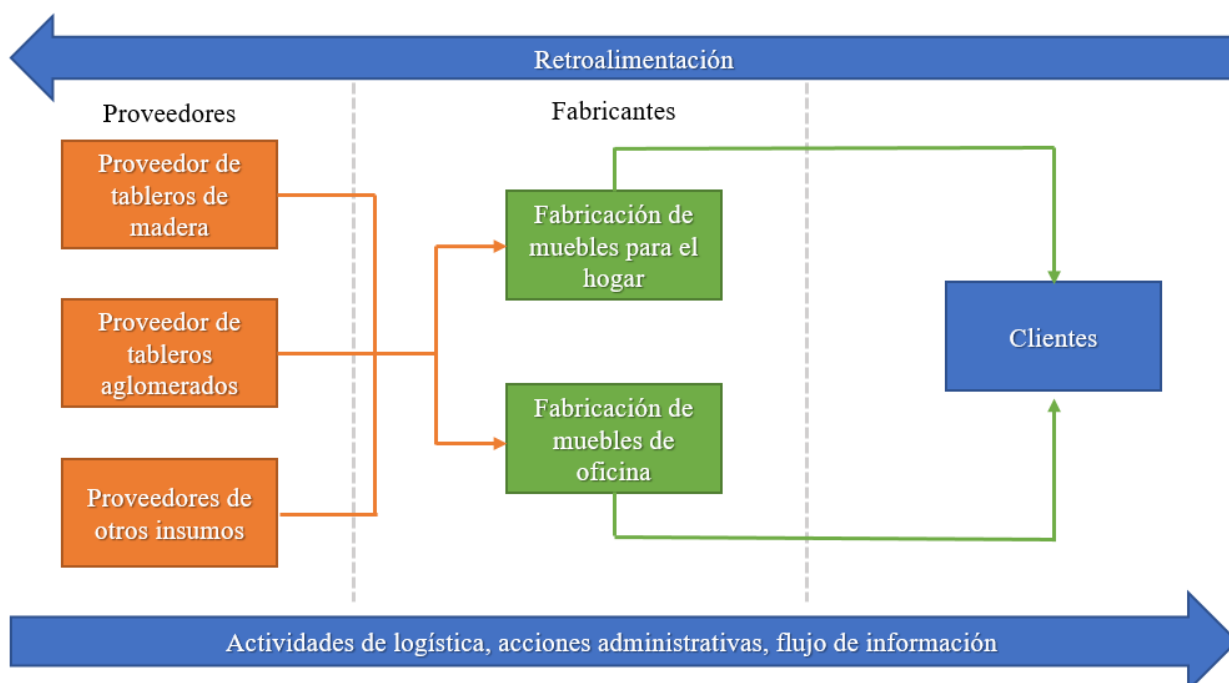


Figura 8. Cadena de abastecimientos de la empresa Legno's  
Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos Legno's.

La cadena de suministros posee eslabones, estos son encargados de generar una parte del producto final, con el fin de agregar valor a la materia prima. Cabe resaltar que, si algún eslabón de la cadena falla todo el resto de la cadena fallará y el cliente no se sentirá satisfecho con el producto. A continuación, se realiza una breve descripción de los diferentes eslabones que integran la cadena de suministro de los muebles de madera en Legno's.

#### ***6.1.6.1. Proveedores.***

Son las persona o empresas que se encargan de suministrar la materia prima o insumos necesarios para la realización de los productos. El principal proveedor de madera es Madecentro, suministrándole en su totalidad la madera, por otra parte, aglomerados de Sucre es el encargado de proveer la melamina; las pinturas y selladores son traídas por distribuidores de pintuco directamente a la empresa, al igual que los tornillos, clavos y pegamento.

#### ***6.1.6.2. Fabricantes.***

La fabricación de muebles de madera para el hogar y para la oficina son procesos realizados dentro de las instalaciones de Legno's, en este eslabón se involucra la materia prima, herramientas, maquinaria y personal capacitado para cumplir con las especificaciones del cliente.

#### ***6.1.6.3. Clientes.***

Esta parte de la cadena es integrada por los consumidores de los productos finales, es decir, las personas que demandan muebles de madera para satisfacer sus necesidades. La empresa Legno's le distribuye directamente al cliente, sin necesidad de intermediarios, entre los clientes se encuentran: edificios, colegios, guarderías, cafeterías, bares o personas naturales ubicadas en los municipios de la costa caribe, especialmente en Sincelejo, Cartagena y Barranquilla.

### **6.1.7. Proceso de fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's.**

La cadena de suministros engloba todos los eslabones que contribuyen a desarrollar las actividades de la empresa. De esto parte el análisis del proceso productivo que se encuentra inmerso en la parte de fabricantes.

El proceso de fabricación de muebles de madera está compuesto por una serie de etapas (evidenciadas en la figura 9), que permiten transformar la materia prima en productos terminados, los cuales serán comercializados posteriormente. Es importante señalar que, aunque se fabrican diferentes tipos de muebles, el proceso productivo que se desarrolla es generalmente el mismo para todos los productos. Por otro lado, en la figura 10 se muestra la secuencia del proceso y las diferentes alternativas que posee cada etapa en la fabricación de los muebles.

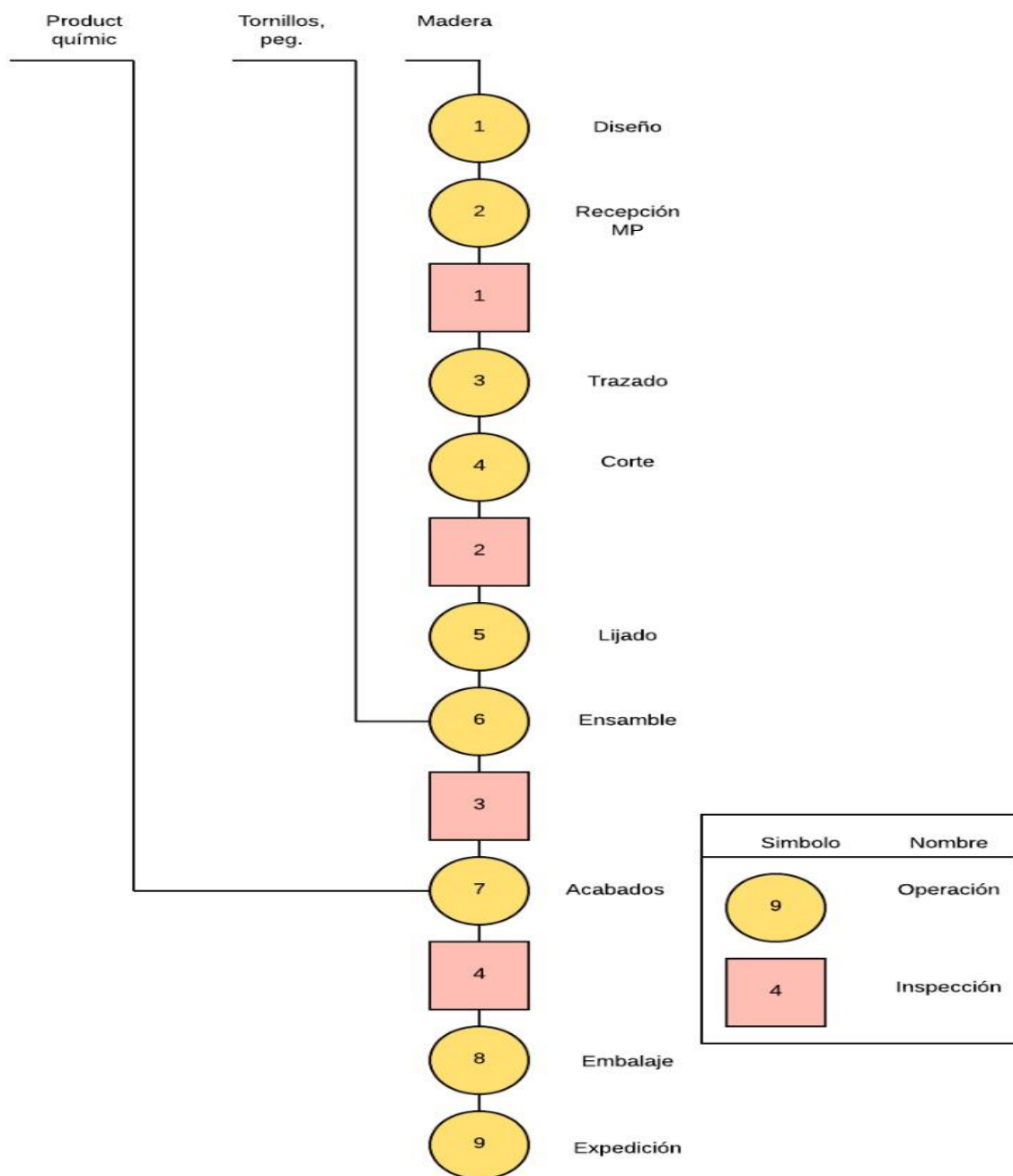


Figura 9. Diagrama de operaciones del proceso de fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's  
Fuente: Elaboración propia



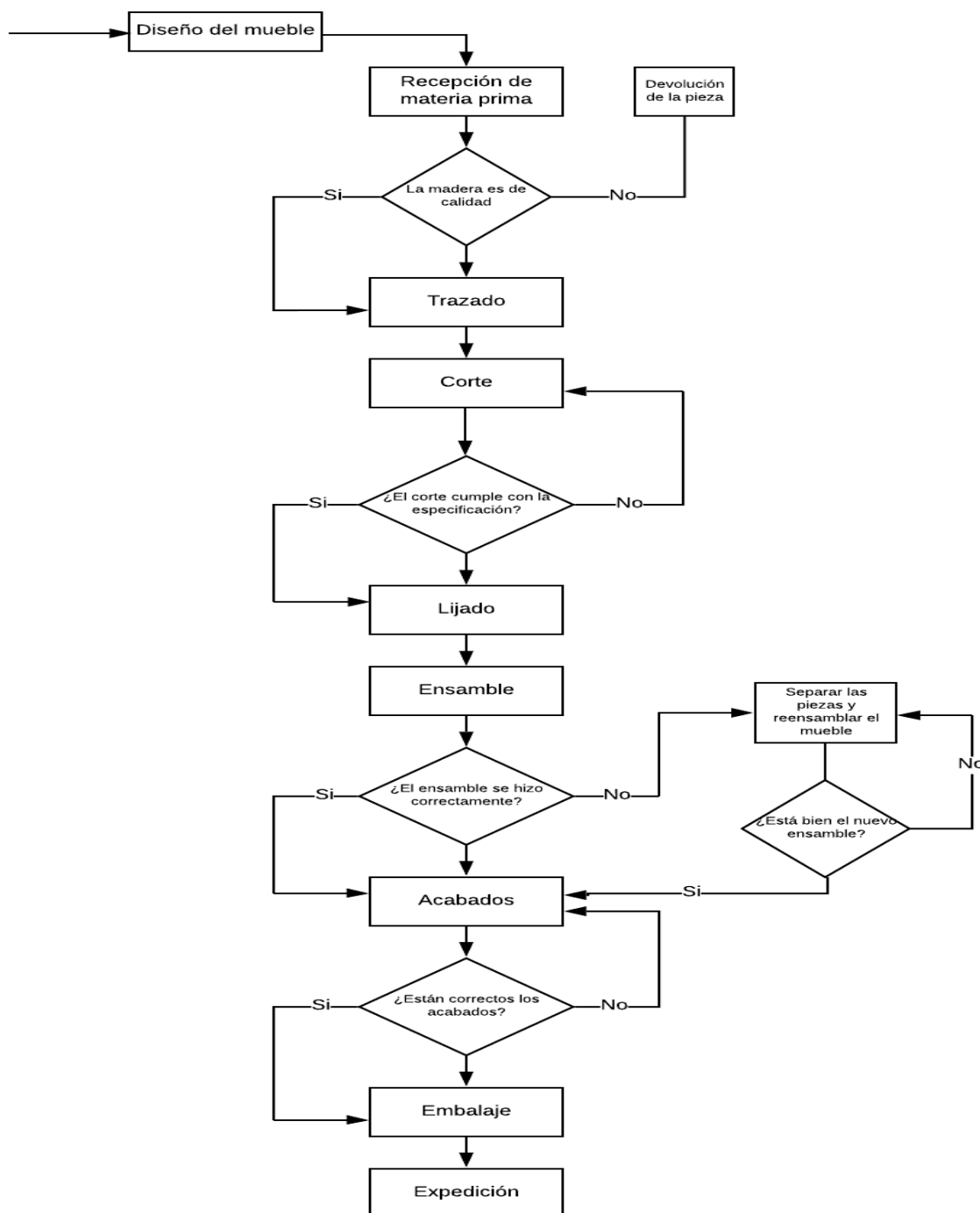


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's  
Fuente: Elaboración propia

Entendiendo la importancia de cada etapa para la realización de los muebles de madera, estas serán descritas a continuación:

#### ***6.1.7.1. Diseño del mueble.***

En la etapa de diseño se elabora el plano de manera manual usando papel y lápiz, este servirá para definir la forma como se fabricarán los muebles y los materiales que se deben utilizar. Este boceto se obtiene con base a los requerimientos y especificaciones del cliente, quien posteriormente dará su aprobación para iniciar con la fabricación del artículo o lote. Una vez se encuentra listo el diseño, es distribuido a los diferentes empleados que fabricaran el mueble, para que estudien el mismo y preparen los implementos necesarios.

#### ***6.1.7.2. Recepción de materia prima.***

Al obtener el diseño del mueble se realiza el pedido de materiales a los diferentes proveedores, teniendo en cuenta el tipo de madera a utilizar, la forma como se ensamblará el mueble y los acabados que tendrá. Después de realizar el pedido, se verifica que los tablones se encuentren en buen estado y posean las dimensiones requeridas, además de que los insumos como clavos, bisagras y otros elementos estén en las cantidades pedidas; al pasar la verificación, la madera es enviada a la etapa de trazado y los demás insumos a sus áreas correspondientes.

Es importante señalar que la empresa Legno's realiza pedidos exactos de la materia prima que se usará en el proceso, por ello no existen centros de almacenamiento para acopiar los materiales, aun así, estos son separados y organizados dependiendo del uso que se le vaya a dar.

#### ***6.1.7.3. Trazado.***

En esta etapa se marcan líneas y trazos con lápiz carboncillo, que funcionan de guía para realizar los cortes de manera precisa, aprovechando la mayor parte del tablón.

#### ***6.1.7.4. Corte.***

Esta etapa del proceso permite conseguir las piezas según el marcaje previo, usando diferentes tipos de sierras, dependiendo del tipo de mueble. Esta etapa se realiza con suma precisión para disminuir el daño en el tablón y pérdida de materia prima, creando residuos como polvo, aserrín y estacas de madera. Luego de realizar el corte, se hace una inspección para verificar que las piezas realizadas cumplan con lo establecido en el plano.

#### ***6.1.7.5. Lijado.***

Luego de realizar el corte de las piezas, estas deben tener un aspecto suave para el ensamble, para eso se utiliza una pulidora eléctrica en dirección de la veta de la madera que ayuda a eliminar la mayor cantidad de grumos y obtener una madera fina. En esta etapa se genera mucho polvo, por esta razón los empleados deben tener tapabocas y gafas protectoras.

#### ***6.1.7.6. Ensamble.***

Cuando las piezas han sido pulidas y poseen una superficie lisa, se procede a ensamblar el mueble, usando como guía el plano hecho en la etapa de diseño. En esta etapa se usan diferentes elementos de ensamble como tornillos, pegamento, clavos, en algunos casos se requerirá partes pequeñas de madera para sostener las piezas. El elemento de unión depende del requerimiento de cada mueble en cuanto a firmeza. En algunos casos esta operación se realiza solo con tornillos instalados por medio de un taladro eléctrico.

Al finalizar esta etapa el empleado que la desarrolla verifica que las piezas estén en el lugar planteado en el boceto y que el mueble se encuentre firme.

#### ***6.1.7.7. Acabados.***

Después del ensamble, el mueble es trasladado al área de acabados donde se le aplican una serie de productos químicos como barnices y pinturas mediante un compresor de aire, o se

realizarán técnicas que le darán al mueble el aspecto deseado por el cliente; estos productos químicos protegen la madera de agentes externos como el polvo y la humedad.

Al finalizar este proceso es necesario verificar que la capa de pintura sea homogénea y que toda la superficie esté pintada o con la táctica elegida por el cliente, ya que existe diferentes tipos de acabados que realiza Legno's para embellecer sus productos, que son descritos seguidamente:

#### *6.1.7.7.1. Decapado.*

Esta técnica consiste en eliminar partes de la capa más superficial de pintura para lograr un efecto de envejecimiento en los muebles.

#### *6.1.7.7.2. Craquelado.*

Es un efecto cuarteado de una superficie, dando en los muebles una apariencia antigua y agrietada, como si ese deterioro fuera gracias al paso del tiempo.

#### *6.1.7.7.3. Barniz.*

El barniz es pintura y sellador en un mismo producto, este da un acabado muy fuerte para cualquier superficie de madera. Al aplicar barniz a los productos de madera esta hace que sean resistentes a cualquier otro producto químico y la humedad.

#### *6.1.7.7.4. Natural.*

No es necesario el uso de pinturas para hacer el acabado, en este se utiliza un sellador de madera que no altera el color, sino que lo preserva.

#### *6.1.7.7.5. Pintura.*

Existen dos tipos de pinturas a base de agua y a base de aceite, siendo esta última la más utilizada en la empresa por el efecto brillante que da en las superficies donde se aplica, ofreciendo

protección contra condiciones climáticas variables. Existen diferentes tipos de pintura según el acabado:

- **Mate:** Estos son acabados con menor brillo y textura aterciopelada, ayudando a ocultar las imperfecciones de la madera y ofreciendo una gran profundidad de color.
- **Semimate:** Este tipo de pintura tiene un brillo ligero, tiene durabilidad al aplicarla en madera y es de fácil limpieza.
- **Brillante:** Esta pintura es altamente duradera y soporta múltiples limpiezas, ayuda con la claridad de la habitación donde se coloque el mueble y en ocasiones resalta las imperfecciones de la madera.

#### ***6.1.7.8. Embalaje.***

Luego de que los acabados estén terminados, se procede a embalar los muebles dependiendo de su tamaño, si el mueble es muy pesado se embalan por piezas para que posteriormente se arme en el lugar de destino. En este proceso se usan cajas de cartón, cantoneras de cartón, papel film y plástico burbujas, con el fin de proteger los muebles de golpes o ralladuras.

#### ***6.1.7.9. Expedición.***

Esta es la etapa final del proceso productivo, donde se carga el mueble ya embalado al camión para transportarlo al destino asignado por el cliente.

## **6.2. Mapa de procesos de la fabricación de muebles de madera**

El mapa de procesos identifica los insumos como herramientas, maquinaria, madera, melamina y recursos (combustible y energía eléctrica), que corresponden a las entradas del sistema, las cuales son utilizadas durante todo el proceso productivo generando salidas como: residuos de la materia prima utilizada, productos defectuosos, productos terminados y emisiones de GEI por la utilización de herramientas, vehículos y maquinarias durante la fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's, como se observa en la figura 11.

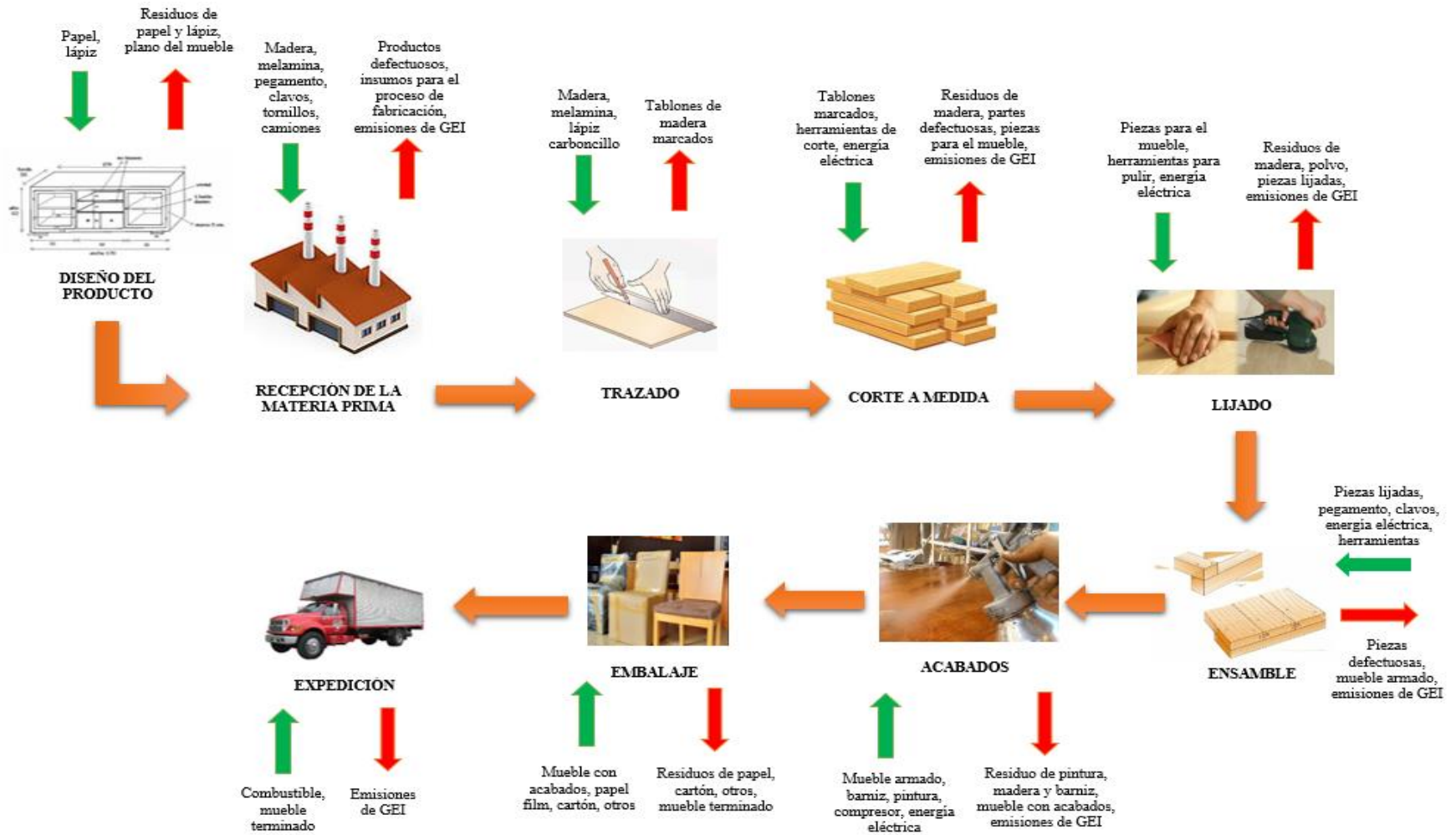


Figura 11. Mapa de procesos de muebles de madera en la empresa Legno's  
 Fuente: Elaboración propia

### 6.3. Definición del límite de cálculo de la huella de carbono en la empresa Legno's

El límite para el cálculo de la huella de carbono en la empresa Legno's corresponde al tipo de análisis de Business to Business (B2B), como se muestra en la figura 12, el cual consiste en el análisis desde la recepción de materias primas hasta la distribución al cliente, es decir, de la cuna a la puerta.



*Figura 12.* Límite para el cálculo de la huella de carbono en Legno's  
Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.1. Unidad funcional.

Para realizar el cálculo de la huella de carbono en la empresa Legno's se toma como unidad funcional un año de trabajo, siendo el periodo base el año 2018, es decir, la recopilación de datos e información relativa a esta investigación corresponde solo a esta anualidad.

#### 6.3.2. Límite organizacional.

El límite organizacional es la empresa Legno's ubicada en el barrio La vega de la ciudad de Sincelejo. Esto debido a que todas las etapas del proceso productivo se llevan a cabo en esta edificación.

#### 6.3.3. Límite operacional.

En este apartado se muestra en la figura 13, donde se identifican las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las operaciones que se realizan en la empresa, estas emisiones se clasifican en directas e indirectas.



Las emisiones directas provienen de las actividades desarrolladas y controladas por la empresa, en otras palabras, las resultantes de la combustión de los camiones encargados de transportar los muebles de madera a los clientes. Las emisiones indirectas corresponden a las que son generadas por el uso de energía eléctrica por parte de la empresa para desarrollar sus operaciones. El dato de este apartado proviene de la potencia de cada herramienta evidenciado en la tabla 7.

#### 6.3.4. Exclusiones.

Es importante señalar que en el apartado “emisiones directas” se excluyen los desplazamientos realizados por los trabajadores en medios de transportes como taxis, buses, motos, desde sus casas hasta las instalaciones de la empresa y los vehículos que no son propios de la empresa, debido a que no es posible tener un control del consumo de combustible de los mismos.

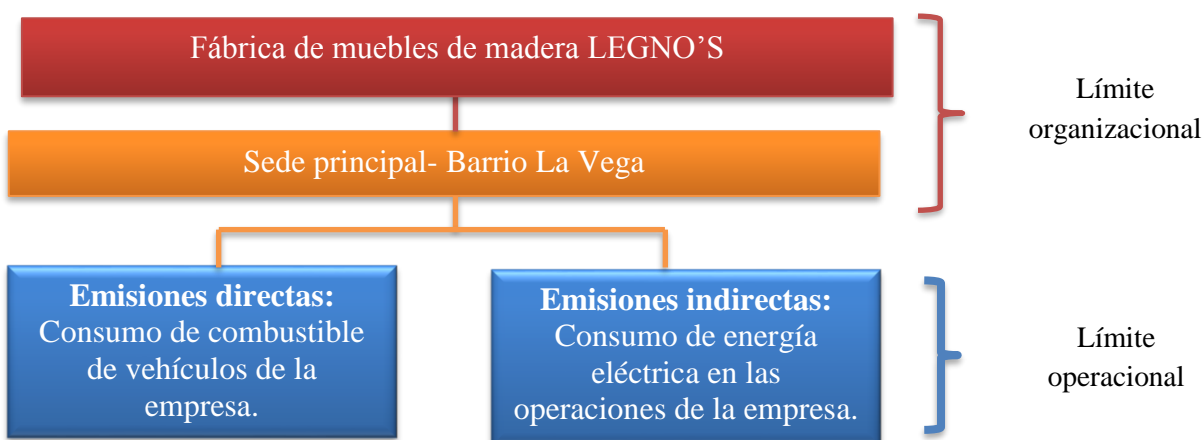


Figura 13. Límite organizacional y operacional de la empresa Legno's  
Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.5. Priorización de datos.

En este aspecto se tiene en cuenta los elementos cuyas emisiones ayudan al aumento del calentamiento global y por ende son importantes para el cálculo de la huella de carbono, para ello se tienen en cuenta las siguientes entradas y salidas:

- **Etapa 1. Producción**

La producción abarca desde la entrada de la madera al taller de corte y termina cuando se obtiene el mueble con los acabados. En la etapa de producción, se tiene en cuenta como generador de emisiones la cantidad de energía eléctrica utilizada por las máquinas y herramientas para la fabricación de los muebles. En esta parte no se tiene en cuenta las operaciones de diseño, trazado y embalaje, ya que estas no producen emisiones de GEI, debido a que se realizan de forma manual.

- **Etapa 2. Distribución del producto**

En esta etapa se toma en cuenta el traslado del producto desde la fábrica hasta el sitio donde se ubique el consumidor. Por lo tanto, se evidencia el consumo de gasolina por kilómetro recorrido desde la fábrica hacia el cliente como una fuente de emisiones de GEI.

Cabe resaltar que no se tendrá en cuenta el proceso de recepción de materia prima porque los proveedores son los que envían los insumos directamente a las instalaciones de Legno's y como se mencionó en el apartado bienes de inversión de la tabla 1, la norma PAS 2050 exceptúa el cálculo de las operaciones que utilizan vehículos que no son propios de la empresa.

#### 6.4. Recopilación de datos para el cálculo de la huella de carbono

Los datos que se utilizaron para evaluar la huella de carbono de los productos de madera elaborados en Legno's, se obtuvieron mediante observación directa de los procesos productivos y de las bases de datos suministradas por la empresa.

##### 6.4.1. Tiempos de procesamiento por etapa de trabajo.

Los tiempos de procesamiento por cada una de las operaciones que conllevan a la fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's se evidencian detalladamente en el anexo 2. Es necesario señalar que la cantidad de piezas y los tiempos de procesamiento que se muestran en la tabla varían dependiendo del mueble a fabricar, porque cada mueble tiene periodos diferentes para el corte, lijado, ensamble y acabado. Hay que mencionar, además que el cálculo del tiempo de ejecución y el tiempo de espera total para las operaciones de corte y lijado se realizan por medio de la multiplicación entre las variables tiempo y cantidad de piezas totales, para el caso de ensamble y el acabado, se multiplica por la variable cantidad de muebles, debido a que en estas dos etapas no se trabajan por piezas. En la tabla 6 se evidencia el resumen de los tiempos por cada operación durante el año 2018.

Tabla 6.  
*Resumen de tiempos de procesamiento por operación durante el año 2018*

Mes	Operación	Tiempo total promedio de proceso (horas)
Enero	Corte	451,56
	Lijado	650,25
	Ensamble	64,58
	Acabado	87,92
Febrero	Corte	396,83
	Lijado	637,33
	Ensamble	53,19
	Acabado	74,77
Marzo	Corte	370,80
	Lijado	501,27
	Ensamble	36,67
	Acabado	45,33
Abril	Corte	440,72
	Lijado	618,43
	Ensamble	55,11

Mes	Operación	Tiempo total promedio de proceso (horas)
Mayo	Acabado	69,78
	Corte	319,39
	Lijado	399,23
	Ensamble	52,70
Junio	Acabado	70,78
	Corte	506,23
	Lijado	677,56
	Ensamble	74,40
Julio	Acabado	104,17
	Corte	605,31
	Lijado	662,65
	Ensamble	74,80
Agosto	Acabado	113,33
	Corte	304,72
	Lijado	466,97
	Ensamble	58,50
Septiembre	Acabado	77,64
	Corte	378,58
	Lijado	518,05
	Ensamble	114,30
Octubre	Acabado	150,81
	Corte	381,74
	Lijado	522,38
	Ensamble	114,30
Noviembre	Acabado	125,41
	Corte	365,91
	Lijado	500,72
	Ensamble	114,30
Diciembre	Acabado	125,41
	Corte	296,50
	Lijado	452,16
	Ensamble	47,60
	Acabado	58,37

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.2. Herramientas y máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de muebles de madera.

En el anexo 3 se muestran las características generales de las herramientas y maquinas utilizadas para la producción de muebles de madera. Por otra parte, en la tabla 7 se evidencia (de manera resumida) la potencia que manejan las máquinas y herramientas, junto con la cantidad respectiva.

Tabla 7.

*Potencia de las herramientas y maquinas utilizadas para la fabricación de muebles de madera*

Nombre de la máquina/herramienta	Cantidad (unidad)	Potencia (kW)
Sierra eléctrica circular	1	1,4
Sierra circular con mesa	2	1,5
Sierra sinfín	1	1,8
Sierra caladora	2	0,8
Canteadora	1	1,15
Pulidora eléctrica	3	0,8
Lijadora circular	1	1
Cepillo eléctrico	2	0,65
Taladro	3	0,7
Compresor de aire eléctrico	4	14,5
Fresadora de superficie	2	1,2

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.3. Medios de transporte utilizados para la expedición de los productos.

En la tabla 8 se evidenciarán las características de los vehículos utilizados para la expedición de muebles de madera hacia el cliente, además del consumo de combustible, que es un dato importante para el cálculo de las emisiones de GEI.

Tabla 8.

*Descripción de vehículos utilizados en la empresa Legno's*

<b>Ficha técnica medios de transporte Legno's</b>	
	<b>Nombre</b>
	Camión
	<b>Cantidad</b>
	2 unidades
	<b>Uso</b>
	Transporte de productos terminados
	<b>Tipo de combustible</b>
	Diésel
	<b>Consumo</b>
	36 litros/ 100 km
<b>Capacidad máxima</b>	
7500 kg	
<b>Medidas</b>	
Largo 5,64 x Ancho 2,5 x Alto 2,5 m	
<b>Tipo de camión</b>	
Camión Ford 600	

Fuente: Elaboración propia

## 6.5. Cálculo de emisiones de GEI en la empresa Legno's

Para cuantificar las emisiones producidas por la empresa Legno's, se debe tener en cuenta la ecuación 1, la cual incluye como variables: el dato de la actividad y el factor de emisión. La primera variable (datos de la actividad) corresponde a los consumos de energía eléctrica de las máquinas y herramientas al igual que el combustible utilizado por los vehículos que hacen parte de la empresa y el factor de emisión corresponde a un valor representativo que relaciona la cantidad de contaminante con la actividad asociada a la emisión de ese contaminante.

### 6.5.1. Cálculo de emisiones de GEI para el consumo de energía eléctrica.

El primer dato de la actividad a evaluar corresponde al consumo de energía eléctrica (kWh), esto es mostrado en la tabla 9 por cada operación realizada en la fabricación de muebles de madera. Además, en el anexo 4 se muestra detalladamente como se realizó el cálculo para cada mes, teniendo en cuenta la cantidad, el tiempo de uso y el consumo de cada herramienta y máquina.

Tabla 9.  
Consumo total de energía eléctrica en la empresa Legno's

Operación	Consumo total de energía eléctrica (kWh)	Consumo total de energía eléctrica (mWh)
Corte	10983,8	10,984
Lijado	11519	11,519
Ensamble	1806,9	1,807
Acabado	54010	54,010

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de emisión para la energía eléctrica, se utilizarán los establecidos en el Sistema Interconectado Nacional- SIN (2018), el cual establece dos tipos de factores de emisión como se puede evidenciar en la tabla 10, el primero que incluye a los mecanismos de desarrollo limpio (MDL), es decir, aquellas fuentes que generan energía renovable en un sistema eléctrico, y el segundo tipo hace referencia al MIX energético, es decir, la producción de energía a través de las compañías eléctricas.

Tabla 10.

*Factores de emisión para la energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional (SIN)*

Tipo de SIN	Factor de emisión (toneladas de CO <sub>2</sub> eq/mWh)
Energía eléctrica desarrollada por MDL	0,38
Energía eléctrica MIX	0,11

Fuente: Tomado de (Bonilla, Herrera y Puertas, 2018, p. 26)

Para el caso de la empresa Legno's se omitirá el cálculo con el factor de emisión correspondiente a MDL, debido a que la empresa no utiliza mecanismos para generar energía renovable, solamente le suministran energía de compañías eléctricas. En la tabla 11 se evidencia el cálculo de las emisiones por cada operación, demostrando que acabados corresponde a la operación que mayor emisión genera, seguido de lijado, en tercer lugar, corte y por último ensamble, como se muestra en la figura 14.

Tabla 11.

*Cálculo de emisiones de GEI por operaciones del proceso de fabricación de muebles de madera*

Operación	Consumo total de energía eléctrica (mWh)	Factor de emisión (tCO <sub>2</sub> /mWh)	Emisiones (toneladas de CO <sub>2</sub> eq)
Corte	10,984	0,11	1,21
Lijado	11,519	0,11	1,27
Ensamble	1,807	0,11	0,20
Acabado	54,010	0,11	5,94
Total de emisiones (toneladas de CO <sub>2</sub> eq)			8,62

Fuente: Elaboración propia

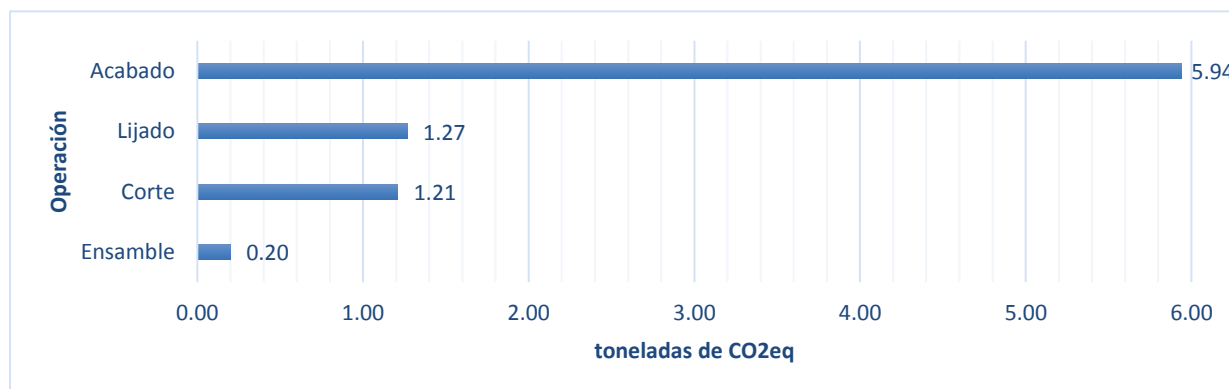


Figura 14. Emisiones de GEI por operaciones del proceso de fabricación de muebles de madera

Fuente: Elaboración propia



### 6.5.2. Cálculo de emisiones de GEI para el consumo de combustible.

Para el cálculo de emisiones con el uso de combustibles se tendrán en cuenta los vehículos utilizados para la expedición del producto terminado. En el anexo 5 se evidencian los kilómetros recorridos desde la empresa hasta los clientes y la cantidad de vehículos utilizados por viaje.

Cabe resaltar que el camión utilizado para la expedición de los muebles de madera hacia el cliente, consume 36 litro de diésel por cada 100 km recorridos. Por lo tanto, el consumo total de combustible por cada mes se ve reflejado en la tabla 13.

Tabla 12.  
Consumo total de gasolina durante el año 2018

Mes	Recorrido total (km)	Consumo de combustible (lts)	Consumo de combustible (gal)
Enero	76,4	27,5	7,26
Febrero	77,4	27,9	7,36
Marzo	79	28,5	7,53
Abril	75,2	27,1	7,15
Mayo	668	240,4	63,47
Junio	84	30,1	7,9
Julio	100,6	36,2	9,56
Agosto	2741	986,8	260,52
Septiembre	78,4	28,2	7,45
Octubre	78,4	28,2	7,45
Noviembre	78,4	28,2	7,45
Diciembre	1002	360,6	95,19

Fuente: Elaboración propia

Los factores de emisión asociados a los combustibles son tomados de la base de datos de la (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2019). Los factores de emisión asociados a combustibles líquidos (los cuales son utilizados para los camiones) se evidencian en la tabla 14.

Tabla 13.

*Factores de emisión para combustibles líquidos*

<b>Combustible</b>	<b>Factor de emisión (Kg de CO<sub>2</sub>eq/Gal)</b>
Kerosene	9,62
Avigas	6,39
Biodiesel palma	6,88
Combustóleo	11,62
Crudo de castilla	11,28
Diésel B10 (mezcla comercial)	10,28
Diésel B2	10,15
Diésel Marino	8,86
Etanol Anhidro	5,92
Fuel Oil #4- Ecopetrol	10,18
Gasolina E10 (Mezcla comercial)	7,62
Gasolina Motor	8,81
Jet A1	9,84
Mezcla Teórica Diésel-Biodiesel	10,15
Mezcla Teórica Gasolina- Etanol	8,81

Fuente: Tomado de (UPME, 2019)

De acuerdo al tipo de camión que se utiliza en la empresa, se utiliza el factor de emisión el asociado al diésel B2, debido a que este combustible es el adecuado para motores tipo diésel de automotores de trabajo medio y pesado, como el que se utiliza en Legno's para el transporte de los productos. Las emisiones totales generadas por el consumo de combustible de los camiones de la empresa se evidencian en la tabla 15.

Tabla 14.

*Cálculo de emisiones de GEI para los vehículos de la empresa Legno's*

<b>Mes</b>	<b>Consumo de combustible (Gal)</b>	<b>Factor de emisión (kgCO<sub>2</sub>/Gal)</b>	<b>Emisiones de GEI (Kg de CO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>Emisiones de GEI (toneladas de CO<sub>2</sub>eq)</b>
Enero	7,26	10,15	73,70	0,07
Febrero	7,36	10,15	74,66	0,07
Marzo	7,53	10,15	76,40	0,08
Abril	7,15	10,15	72,54	0,07
Mayo	63,47	10,15	644,20	0,64
Junio	7,9	10,15	80,65	0,08
Julio	9,56	10,15	97,04	0,10

Mes	Consumo de combustible (Gal)	Factor de emisión (kgCO <sub>2</sub> /Gal)	Emisiones de GEI (Kg de CO <sub>2</sub> eq)	Emisiones de GEI (toneladas de CO <sub>2</sub> eq)
Agosto	260,52	10,15	2644,32	2,64
Septiembre	7,45	10,15	75,63	0,08
Octubre	7,45	10,15	75,63	0,08
Noviembre	7,45	10,15	75,63	0,08
Diciembre	95,19	10,15	966,20	0,97
Total de emisiones (toneladas de CO <sub>2</sub> eq)				4,96

Fuente: Elaboración propia

Al realizar los cálculos para el consumo eléctrico y de combustibles en la empresa Legno's, asociados a las actividades de producción y expedición de muebles de madera, se puede establecer una emisión de 8,62 toneladas de CO<sub>2</sub>eq generadas por el consumo de energía eléctrica de las máquinas y herramientas, y 4,96 toneladas de CO<sub>2</sub>eq por el consumo de combustible de los camiones utilizados para la distribución del producto terminado (como se evidencia en la figura 15) dando como resultado un total de 13,58 toneladas de CO<sub>2</sub>eq emitidas por la empresa durante el año 2018.

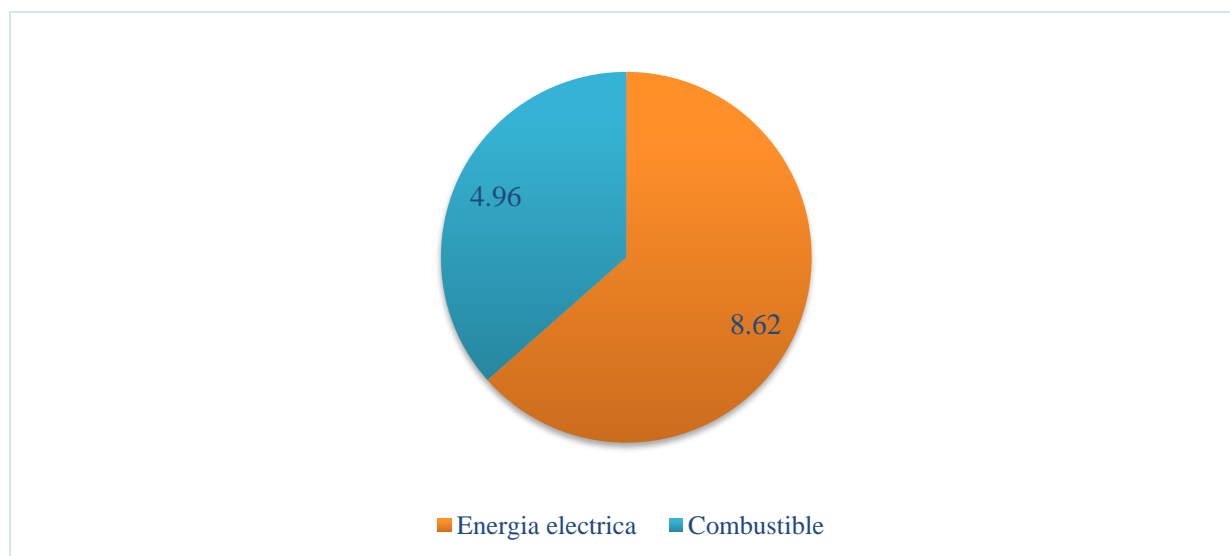


Figura 15. Toneladas de CO<sub>2</sub>eq generadas por Legno's en el año 2018

Fuente: Elaboración propia

## **6.6. Diseño de estrategias para minimizar el impacto ambiental producido por Legno's**

Basándose en el hecho de que todas las operaciones generan emisiones de GEI, por más mínimas que sean, se utilizará el método de evaluación jerárquica de estrategias (AHP) para priorizar las alternativas de minimización del impacto ambiental para cada operación y decidir cuál es la más conveniente.

### **6.6.1. Modelización del problema.**

Para la modelización del problema se identifican y estructuran los elementos que conforman el problema a estudiar, teniendo en cuenta la definición del objetivo, la identificación de criterios, y el establecimiento de alternativas.

#### ***6.6.1.1. Definición del objetivo.***

En esta fase de la metodología AHP, se define el objetivo por el cual se va regir el modelo, es decir, determinar las estrategias más adecuadas para la mitigación del impacto ambiental generado por la fabricación de muebles de madera en la empresa Legno's.

#### ***6.6.1.2. Identificación de criterios.***

En esta investigación los criterios fueron proporcionados por los socios de la empresa, mediante entrevistas y mesas de diálogos, debido a que son los más interesados en los resultados del estudio. Para los socios de la organización los aspectos que son relevantes para este estudio y que serán tomados como criterios son: la inversión de implementación, capacidad y el porcentaje aproximado de disminución del impacto.

#### ***6.6.1.3. Identificación de alternativas.***

Consiste en proyectos posibles o viables, mediante los cuales se podrán alcanzar el objetivo, estas alternativas fueron tomadas de varias ideas proporcionadas por la directora de operaciones de Legno's, ya que ella es la que posee mayor conocimiento sobre el proceso

productivo que se desarrolla. Se plantean tres alternativas por cada operación, a continuación, se describen cada una:

*6.6.1.3.1. Alternativas para la operación de corte.*

- **Reemplazo a tecnología láser para corte (R500)**

El corte por láser es una técnica de alta precisión y velocidad, demandando un trabajo de menor esfuerzo para el operario. Esta técnica permite que se realicen la producción mensual aproximada de 233 muebles de madera en 13,995 horas, lo que normalmente se realiza en 401,5 horas, teniendo una inversión total de \$21.000.000 de pesos colombianos, donde incluye además de la máquina, una mesa ajustable para tablonos de cualquier tamaño y el manual de instrucciones. Esta máquina posee una potencia de 15,5 kW, la cual en el tiempo que debe ser utilizada, es decir, 13,995 horas genera un impacto de 0,02386 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, haciendo que se reduzca en un noventa y ocho punto cero tres por ciento (98,03%) las emisiones, como se demuestra a continuación:

$$1,21 \text{ toneladas } CO_{2eq} \rightarrow 100\%$$

$$0,02386 \text{ toneladas } CO_{2eq} \rightarrow X$$

$$X = \frac{0,02386 \text{ toneladas } CO_{2eq} \times 100\%}{1,21 \text{ toneladas } CO_{2eq}}$$

$$X = 1,97 \%$$

$$X = 100\% - 1,97\%$$

$$X = 98,03\%$$

- **Cortes manuales**

Realizar los cortes de manera manual con serruchos hace tedioso el procedimiento, porque requiere un esfuerzo mayor del operario, donde este dura aproximadamente 45 minutos por corte,

lo que haría que el corte de todas las piezas para realizar en promedio 233 muebles mensuales, se realizara en 3778,625 horas.

Además, se tiene que agregar el costo de adquirir las herramientas como sierras de mano, las cuales tienen un costo de \$16.800 c/u y una medida de 24 pulgadas, se deben comprar aproximadamente 6 unidades para reemplazar en cantidad las máquinas que se encuentran actualmente en Legno's para realizar el corte, asimismo se debe capacitar al personal en el uso de estas herramientas, donde el curso tendrá un costo de \$ 669.800, esto genera una inversión total de \$770.600.

Con respecto al impacto ambiental, con esta nueva técnica se logra reducir en un cien por ciento (100%) las emisiones generadas por la operación de corte, debido a que no se está utilizando ninguna herramienta eléctrica, que sería el motivo de la generación de gases de efecto invernadero.

- **Sustitución por herramientas de menor potencia**

Con esta alternativa se propone reemplazar las herramientas de corte que tengan mayor potencia por unas que cumplan su misma función, pero necesiten de menor gasto energético. Por lo tanto, se procede a reemplazar la sierra circular actual, que tiene una potencia de 1,4 kW por una más moderna de marca Skilsaw, la cual posee una potencia de 1,1 kW; esta misma también hará el reemplazo de la sierra circular con mesa que posee una potencia de 1,5 kW, asimismo sucede con la sierra sin fin, que posee una potencia de 1,8 kW y será reemplazada por una marca Einhell, más moderna, con potencia de 0,5 kW y velocidad ajustable a diferencia de la que se encuentra en Legno's que solo posee un tipo de velocidad. Adquirir la maquinaria mencionada tiene una inversión total de \$2.597.540.

La empresa cumple con una producción mensual aproximada de 233 muebles de madera, en el cual el corte de las piezas de madera se realiza en aproximadamente 401,5 horas para esa cantidad establecida. En el caso de que se cambiaran las sierras circulares y la sierra sin fin, se puede cortar la misma cantidad de piezas o incluso una cantidad mayor, debido a que la velocidad

que manejan estas herramientas es mayor que las que se encuentran en la empresa, siendo la sierra sin fin de cortar hasta 1000 metros por minuto y la sierra circular mueve la cuchilla a 500 rpm.

Al realizar el cambio de herramientas, se observa una reducción de veintiuno punto cuarenta y tres por ciento (21,43%) en el consumo energético para la sierra circular y una disminución del setenta y dos punto veintidós por ciento (72,22%) en la sierra sin fin, lo que es demostrado de la siguiente manera:

**Sierra circular:**

$$1,4 \text{ kW} \rightarrow 100\%$$

$$1,1 \text{ kW} \rightarrow X$$

$$X = \frac{1,1 \text{ kW} \times 100\%}{1,4 \text{ kW}}$$

$$X = 78,57\%$$

$$X = 100\% - 78,57\%$$

$$X = 21,43\%$$

**Sierra sin fin:**

$$1,8 \text{ kW} \rightarrow 100\%$$

$$0,5 \text{ kW} \rightarrow X$$

$$X = \frac{0,5 \text{ kW} \times 100\%}{1,8 \text{ kW}}$$

$$X = 27,77\%$$

$$X = 100\% - 27,77\%$$

$$X = 72,22\%$$

Esto hace que se pase de una emisión de 1,21 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a una de aproximadamente 0,87 toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

#### 6.6.1.3.2. Alternativas para la operación de lijado.

- **Mantenimiento correctivo y preventivo de herramientas**

El mantenimiento preventivo y correctivo en herramientas con consumo eléctrico disminuye la cantidad de fallas que se presentan en las mismas y evita interrupciones forzosas del proceso productivo. Asimismo, el aumento en el control y seguimiento de equipos mejora gradualmente el rendimiento de la máquina y reduce hasta en un 10% el consumo de energía, es decir, esta área tendría un consumo energético de 10,3671 mWh al año, lo cual genera 1,14 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, demostrado de la siguiente manera:

$$X = 11,519 \text{ mWh} \times 10\%$$

$$X = 1,1519 \text{ mWh}$$

$$X = 11,519 \text{ mWh} - 1,1519 \text{ mWh}$$

$$X = 10,3671 \text{ mWh}$$

$$\text{Emisiones} = 10,3671 \text{ mWh} \times 0,11 = 1,14 \text{ toneladas CO}_2\text{eq}$$

Generalmente esta operación se realiza cada 3 a 6 meses dependiendo del uso que se le da a la herramienta, en este caso el mantenimiento preventivo se realiza trimestralmente para reducir al máximo las fallas. Teniendo en cuenta lo anterior, el costo de cada revisión es de \$200.000 pesos colombianos. En este caso, la capacidad de las máquinas se mantendría, por ende, la empresa seguirá lijando aproximadamente 233 muebles mensuales en 550 horas.



- **Ejecución manual de la operación lijados**

Una de las principales alternativas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la operación de lijado es la ejecución manual de dicha actividad, utilizando herramientas que no consuman energía eléctrica ni combustibles, es decir que se disminuye en un cien por ciento (100%) el impacto ambiental.

Cabe aclarar que el cambio a proceso manuales aumenta los tiempos de ejecución a 25 minutos aproximadamente por pieza, haciendo que se lijén 233 muebles en 2099, 23 horas en vez de 550,6 horas como se acostumbra normalmente, esto también hace que se haga cambio de las lijas en un periodo de tiempo anticipado por el uso excesivo de este elemento.

Para desarrollar esta técnica, como ya se dijo, es necesario el uso de diferentes herramientas como papel de lija, lijadora manual, entre otras, que deben ser escogidas de acuerdo al grado de uniformidad que se desea. Una lijadora manual tipo manija tiene un costo aproximado de \$86.143 pesos colombianos, y el papel de lija tiene un costo de \$70.990 pesos (12 hojas), dando una inversión total de \$ 157.133 pesos colombianos.

- **Sustitución de la maquinaria**

La empresa Legno's utiliza dos tipos de herramientas en la operación de lijado (canteadora y pulidora eléctrica), teniendo una potencia total de 5,85 kW, generando 1,27 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año. Por ello, para reducir estas emisiones es necesario que la organización cambie estos instrumentos por un equipo que sea capaz de realizar las diferentes actividades de lijado y pulido, sin disminuir la capacidad actual. Para eso se escogió el taladro industrial eléctrico con kit de lijas el cual tiene una potencia de 0,7 kW, por un costo de \$688.415 pesos, donde se adquirirán cuatro taladros, dando una potencia total de 2,8 kW y una inversión final de \$ 2.753.660 pesos colombianos.

Con la adquisición de esta herramienta, la empresa puede seguir con su producción mensual de 233 muebles en 550,6 horas y se evidenciaría una reducción del cincuenta y dos punto catorce por ciento (52,14%) del consumo de energía en esta operación, como se evidencia a continuación:

$$5,85 \text{ kW} \rightarrow 100\%$$

$$2,8 \text{ kW} \rightarrow X$$

$$X = \frac{2,8 \text{ kW} \times 100\%}{5,85 \text{ kW}}$$

$$X = 47,86\%$$

$$X = 100\% - 47,86\%$$

$$X = 52,14\%$$

Haciendo el cambio de herramienta, se pasará de una emisión de 1,27 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a una de aproximadamente 1,04 toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

#### 6.6.1.3.3. Alternativas para la operación de ensamble.

- **Mantenimiento preventivo y correctivo del taladro**

La seguridad de los trabajadores y la vida útil de las herramientas eléctricas, dependen directamente del cuidado que se les proporcione. Un mantenimiento preventivo es indispensable para el buen funcionamiento de la máquina, por ello es necesario que el operario encargado del ensamble de los muebles realice una limpieza diaria de las herramientas, es decir al taladro, con el fin de disminuir el número de fallas que se pueden presentar y verificar el estado de la herramienta. Teniendo en cuenta lo anterior, la empresa Legno's invertiría \$180.000 pesos colombianos en el mantenimiento de los tres taladros que posee. En cuanto a la capacidad, el mantenimiento de los taladros lograría mantener el ensamble aproximado de 233 muebles mensuales en 71,70 horas que realiza la empresa.

El mantenimiento preventivo y correctivo de los taladros supondría una reducción del 10% del consumo de energía, gracias al cuidado que tendrá la pieza, pasando de un consumo energético anual de 1,807 mW a 1,626 mW, lo cual reduce las emisiones de gases a 0,18 toneladas de CO<sub>2</sub>eq anuales, como se observa a continuación:

$$0,20 \text{ toneladas } CO_{2eq} \rightarrow 100\%$$

$$0,18 \text{ toneladas } CO_{2eq} \rightarrow X$$

$$X = \frac{0,18 \text{ toneladas } CO_{2eq} \times 100\%}{0,20 \text{ toneladas } CO_{2eq}}$$

$$X = 90\%$$

$$X = 100\% - 90\%$$

$$X = 10\%$$

- **Ensamble manual de los muebles**

La utilización de herramientas como destornilladores y martillos es muy común en las pequeñas fábricas de muebles de madera de la ciudad de Sincelejo, por lo tanto, se realizaría una inversión de \$100.900 pesos colombianos por concepto de compra de un kit que incluye 8 destornilladores y el costo de un martillo es de \$31.800, y se necesitarán tres de estos, es decir, se tendría un total de \$95.400, dando una inversión total de \$196.300 pesos colombianos. Es importante aclarar que al realizar esta actividad de forma manual el operario tardaría 3 veces más en terminarla, lo cual afecta directamente la capacidad de ensamble de la empresa, haciendo que se ensamblen 233 muebles en aproximadamente 215,11 horas en vez de 71,70 horas como se viene haciendo actualmente.

Con respecto al impacto ambiental, con esta nueva técnica se reducen en un cien por ciento (100%) las emisiones en la operación de ensamble, debido a que no se está utilizando energía eléctrica, que sería el motivo de la generación de gases de efecto invernadero.

- **Cambio de método de ensamble**

Actualmente en la empresa Legno's el ensamble de los muebles de madera se realiza con ayuda de taladros eléctricos que agilizan este proceso, pero son causantes de las emisiones de esta operación, por lo tanto, una alternativa para reducir las emisiones es usar un nuevo método de ensamble, donde no se utilicen herramientas eléctricas.

Por eso se propone realizar un ensamble sin tornillos, que como su nombre lo indica se hace el ensamble sin elementos de empalme. La unión de la madera se lleva a cabo gracias al corte de dos piezas con formas complementarias que funcionan como macho y hembra, permitiendo una junta fuerte e indeformable. Esta técnica se desarrolla usando herramientas como serruchos, formones, sierras caladoras manuales, entre otros, que no consumen energías y por ende no generan emisiones, reduciéndolas a cero por ciento. El costo de los primeros es de \$32.000 pesos colombianos para eso se necesitarían aproximadamente 3 serruchos, dando como resultado un total de \$ 96.000, el kit de formones tiene un costo de \$25.900 pesos e incluye cuatro piezas de diferente forma que permiten realizar varios tipos de corte, y las sierras caladoras tienen un costo de \$83.000, las cuales se necesitarán también 3 unidades, dando como resultado un costo de \$249.000 pesos colombianos (Set con sierra y 7 hojas de metal), dando una inversión total de \$ 370.900 pesos colombianos.

En cuanto al tiempo de procesamiento, esta técnica se desarrolla de manera lenta para que las piezas empalmen adecuadamente, por ello el operario que la realiza tarda hasta 15 minutos en adecuar macho y hembra para su ensamble, lo que ralentiza el proceso, haciendo que se ensamblen 233 muebles en 3495 horas.

#### *6.6.1.3.4. Alternativas para la operación de acabados.*

- **Cambio a procesos manuales en los acabados**

Como primera opción se tiene en cuenta el cambio de procesos semi-automatizados de acabados a los procesos manuales, este último hace que los tiempos de pintura sean largos y arduos

(de aproximadamente 4 a 6 horas por capa de pintura), y se necesite de mayor cantidad de herramientas como rodillos, pinceles y brochas, ya que estos poseen muy poca duración por el excesivo uso.

Por otro lado, elegir los rodillos y brochas de mejor calidad (fibras sintéticas/ rodillos de espuma) proporciona una capa fina y uniforme a los muebles, cada rodillo de espuma de 9 pulgadas tiene un costo de \$7.600 c/u, los pinceles planos por seis unidades tienen un costo de \$9.500 y el Kit Brochas por tres unidades (1", 1½", 2") tiene un precio de \$11.990. Al utilizar rodillos se debe ser cuidadoso, debido a que se puede desperdiciar mucha pintura al impregnarla en el rodillo, para las zonas complicadas y pequeñas se deben utilizar brochas o pinceles.

Cabe resaltar que la utilización de rodillos y brochas puede hacer que se formen burbujas de aire en la pintura, evitando el acabado homogéneo que esta obtiene con el compresor, por lo tanto, se debe incluir capacitaciones para los trabajadores, donde se enseñarán técnicas para que el mueble tenga las mismas características físicas como si estuviera pintado por el compresor, esta capacitación tendrá un costo de \$528.000.

La empresa cumple con una producción mensual aproximada de 233 muebles de madera, en el cual los acabados se realizan en aproximadamente 52,47 horas para esa cantidad establecida. En el caso de que se cambiaran a procesos manuales, los acabados se lograrían en 1864 horas aproximadamente.

Con respecto al impacto ambiental, con esta nueva técnica se logra reducir en un cien por ciento (100%) las emisiones en la operación de acabados, debido a que no se está utilizando el compresor y por lo tanto se elimina el uso de energía eléctrica, que sería el motivo de la generación de gases de efecto invernadero.

- **Mejoramiento de condiciones tecnológicas**

El compresor que utiliza la empresa Legno's para realizar los acabados tiene una potencia de 14,5 kW, el cual genera 5,94 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, produciendo problemas ambientales por la

cantidad de emisiones. Por ello, es necesario que la empresa cambie el compresor de aire utilizado en la operación de acabados por otra máquina que mantenga su producción y reduzca las emisiones de GEI. A continuación, se propone un equipo compresor de aire que puede reemplazar el ya existente en la empresa:

El compresor de aire para realizar los acabados que busca reemplazar el ya existente en la empresa es de marca Dewalt, posee un tanque con capacidad de 22,5 litros, presión de aire de 150 PSI, un área de pintado de 350-370 mm y una potencia de 1,2 kW, este compresor tendrá un costo de \$907.900, teniendo en cuenta que en la empresa se utilizan para la operación de acabados 4 compresores, el total de esta inversión será de \$3.631.600.

La empresa cumple con una producción mensual aproximada de 233 muebles de madera, en el cual los acabados se realizan en aproximadamente 52,47 horas para esa cantidad establecida. En el caso de que se cambiara el compresor por uno con características mejoradas, se lograría seguir con la producción mensual que ya tiene la empresa e incluso podría aumentarse ya que el compresor posee un área de pintado mayor en comparación con el que se utiliza actualmente.

Al realizar el cambio del compresor de aire se evidenciaría una reducción del noventa y uno punto ocho por ciento (91,8%) del consumo de energía en esta operación, lo que es demostrado de la siguiente manera:

$$14,5 \text{ kW} \rightarrow 100\%$$

$$1,2 \text{ kW} \rightarrow X$$

$$X = \frac{1,2 \text{ kW} \times 100\%}{14,5 \text{ kW}}$$

$$X = 8,2\%$$

$$X = 100\% - 8,2\%$$

$$X = 91,8\%$$

Haciendo el cambio al compresor Dewalt se pasará de una emisión de 5,94 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a una de aproximadamente 0,55 toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

- **Implementación de sistemas fotovoltaicos**

Los sistemas fotovoltaicos captan la radiación generada por el sol; el aprovechamiento de esta radiación se puede efectuar usando paneles solares que captan y procesan la misma convirtiéndola en electricidad de corriente continua que puede emplearse durante varias horas al día.

Debido a la posición geográfica de Colombia, la energía que puede ser captada por los sistemas fotovoltaicos es alta, por ello muchas empresas han optado por instalar paneles solares para desarrollar sus actividades, ya que permiten un ahorro eficiente del consumo de energía, el desarrollo de las actividades de manera continua (dependiendo del tipo de sistema que se use) y por ende una reducción de las emisiones de gases contaminantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene como tercera alternativa la implementación de un sistema fotovoltaico para disminuir el uso de energía que genera el compresor que utiliza actualmente la empresa (54010 kWh anuales). Por lo tanto, es importante primeramente precisar el costo asociado al kit de un sistema fotovoltaico, el cual será presentado en la tabla 15.

Tabla 15.

*Paquete de sistema fotovoltaico para generación de energía*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>
Panel solar de material policristalino	40	250 Wp
Baterías tipo gel	8	12 V/200 Ah
Reguladores de carga	3	40 A
Fusible para batería	1	200 A
Kit de cables para conexión a la batería	1	-
Inversor sinusoidal	1	-
Kit de material para fijación al techo	1	-
Instalación del sistema fotovoltaico	-	-
Costo total del kit		\$ 65.000.000

Fuente: Elaboración propia, a partir de (Viva solar, 2019)

El kit mencionado en la tabla 17 posee un rendimiento de 13.000 kWh al año, por lo tanto, se necesitarán cinco kits para soportar el consumo anual de 54010 kWh que genera el compresor de aire que es usado para los acabados, aumentando el costo de adquisición a \$325.000.000

La empresa cumple con una producción mensual aproximada de 233 muebles de madera, en el cual los acabados se realizan en aproximadamente 52,47 horas para esa cantidad establecida. En el caso de que se implementara el sistema fotovoltaico, pero se siguiera con el mismo compresor de aire, la producción mensual permanecería igual y se realizaría en el mismo tiempo.

Para el caso de la disminución del impacto ambiental, al implementar esta alternativa, se reducirá en un cien por ciento (100%) las emisiones de gases de efecto invernadero que produce la actividad de acabados, debido a que, al utilizar un generador de energía solar fotovoltaica, este no requiere ningún tipo de combustión, por lo tanto, no produciría gases de efecto invernadero que favorezcan al calentamiento global.

#### *6.6.1.3.5. Alternativas para la operación de expedición.*

- **Cambio de combustibles (gas natural)**

Los camiones que posee la empresa actualmente funcionan con diésel B2, por lo tanto, se propone el cambio de combustibles líquidos a gas natural, esto consiste en la implementación de un kit de conversión convencional de V8 cilindros y otros elementos que son mostrados en la tabla 16. Como Legno's tiene a su disposición 2 camiones, el costo total de conversión de diésel a gas natural es de \$ 4.980.000.



Tabla 16.

*Paquete de conversión de diésel a gas natural en vehículos*

<b>Elemento</b>	<b>Costo</b>
Inspección	\$ 150.000
Kit de conversión + instalación	\$ 2.275.000
Mantenimiento	\$ 65.000
Costo total	\$ 2.490.000

Fuente: Elaboración propia a partir de (Finanzas personales, 2007)

Como se estaría utilizando el vehículo con las mismas características, la capacidad se mantendría igual, es decir, que se transportarían en promedio 233 muebles mensuales. Por otro lado, la utilización de gas natural en vez de diésel contribuye a la reducción de la contaminación en un setenta y ocho punto cuarenta y tres por ciento (78,43%), demostrado de la siguiente manera:

$$4,96 \text{ toneladas } CO_2eq \rightarrow 100\%$$

$$1,07 \text{ toneladas } CO_2eq \rightarrow X$$

$$X = \frac{1,07 \text{ toneladas } CO_2eq \times 100\%}{4,96 \text{ toneladas } CO_2eq}$$

$$X = 21,57\%$$

$$X = 100\% - 21,57\%$$

$$X = 78,43\%$$

Haciendo el cambio a gas natural, se pasará de una emisión de 4,96 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a una de aproximadamente 1,07 toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

- **Vehículos con menor consumo de combustible**

Se busca cambiar los vehículos Ford 600 que consumen 36 litros de diésel por cada 100 km recorridos, por unos que sean más eficientes en este aspecto. Por lo tanto, se pretende

reemplazarlos por vehículos marca Chevrolet que poseen las características planteadas en la tabla 17.

Tabla 17.

*Descripción de camión para expedición*

<b>Nuevo camión para expedición</b>	
	<b>Nombre</b>
	Camión
	<b>Uso</b>
	Transporte de productos terminados
	<b>Tipo de combustible</b>
	Diésel
	<b>Consumo</b>
	25 litros/ 100 km
	<b>Capacidad máxima</b>
	16.278 kg
<b>Medidas</b>	
Largo 9,25 x Ancho 2,4 x Alto 2,8 m	
<b>Tipo de camión</b>	
Chevrolet FVR 1826	

Fuente: Elaboración propia

Estos camiones tienen un costo de \$51.858.177 pesos colombianos, y se necesitará solamente adquirir uno de estos para poder transportar en promedio 233 muebles mensuales que fabrica la empresa e incluso se puede transportar mayor cantidad de carga o muebles con mayor peso, debido a que el camión marca Chevrolet posee una capacidad máxima de 16.278 kg, un poco más de la capacidad total de los dos camiones que se encuentran actualmente en la empresa, haciendo que se transporten 506 muebles al mes aproximadamente.

Al realizar el cambio de camiones y solo utilizar uno se tiene una disminución del setenta y seis punto sesenta y dos por ciento (76,62%), donde se pasará de una emisión de 4,96 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a una de aproximadamente 1,16 toneladas de CO<sub>2</sub>eq demostrado de la siguiente manera:

$$4,96 \text{ toneladas } CO_2eq \rightarrow 100\%$$

$$1,16 \text{ toneladas } CO_2eq \rightarrow X$$

$$X = \frac{1,16 \text{ toneladas } CO_{2eq} \times 100\%}{4,96 \text{ toneladas } CO_{2eq}}$$

$$X = 23,38 \%$$

$$X = 100\% - 23,38 \%$$

$$X = 76,62 \%$$

Haciendo el cambio a gas natural, se pasará de una emisión de 4,96 toneladas de CO<sub>2eq</sub> a una de aproximadamente 1,07 toneladas de CO<sub>2eq</sub>.

- **Estandarización de rutas**

En esta alternativa se busca disminuir los kilómetros recorridos por cada punto de expedición, mediante un sistema de navegación (GPS) que seleccione la ruta más corta y así se haga un menor consumo de combustible. Para esto se necesita realizar una inversión de \$ 322.425 pesos colombianos que incluye el kit de navegación y la instalación en el camión, como son dos camiones que se les va a instalar el dispositivo, la empresa incurriría en un costo total de \$ 644.850 pesos colombianos.

La capacidad del transporte sería la misma, es decir, transportaría aproximadamente 233 muebles mensuales debido a que no se ha hecho ningún cambio en la carga del vehículo. En el caso de la disminución del impacto ambiental, implementar el sistema de navegación llevaría a escoger la ruta más corta, en el caso de escoger esta alternativa, se disminuye en un tres punto cuarenta y tres por ciento (3,43%) haciendo que las emisiones pasen de 4,96 toneladas de CO<sub>2eq</sub> a 4,79 toneladas de CO<sub>2eq</sub>.

$$4,96 \text{ toneladas } CO_{2eq} \rightarrow 100\%$$

$$4,79 \text{ toneladas } CO_{2eq} \rightarrow X$$

$$X = \frac{4,79 \text{ toneladas } CO_{2eq} \times 100\%}{4,96 \text{ toneladas } CO_{2eq}}$$

$$X = 96,57 \%$$

$$X = 100\% - 96,57 \%$$

$$X = 3,43 \%$$

**6.6.1.4. Conformación del diagrama jerárquico.**

Teniendo en cuenta la construcción del objetivo, criterios y alternativas se muestra en la figura 16 el diagrama jerárquico de la problemática presentada por la empresa Legno's entorno al impacto ambiental generado por la operación de corte, seguido de la figura 17 representando el diagrama correspondiente a la operación lijado, la figura 18 corresponde a la organización jerárquica de la operación ensamble, en la figura 19 se evidencia el diagrama de acabados y por último la figura 20 representa el diagrama jerárquico de la operación de expedición.



Figura 16. Diagrama jerárquico de la operación corte  
 Fuente: Elaboración propia

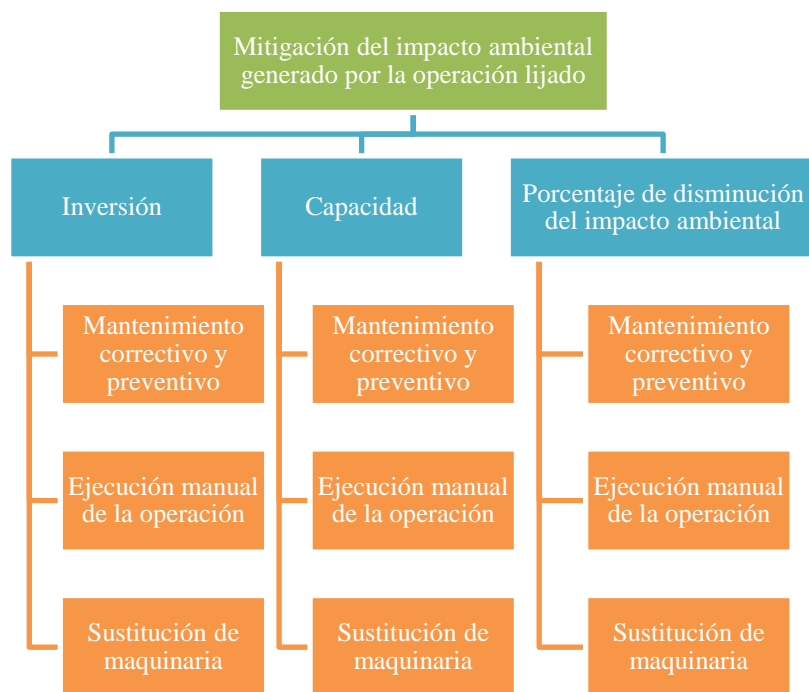


Figura 17. Diagrama jerárquico de la operación lijado

Fuente: Elaboración propia

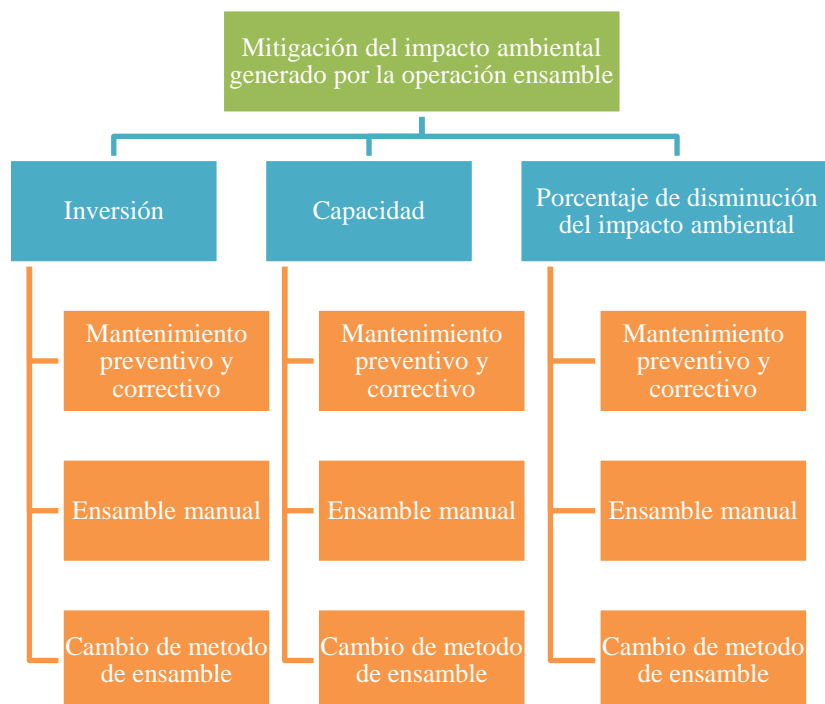


Figura 18. Diagrama jerárquico de la operación ensamble

Fuente: Elaboración propia

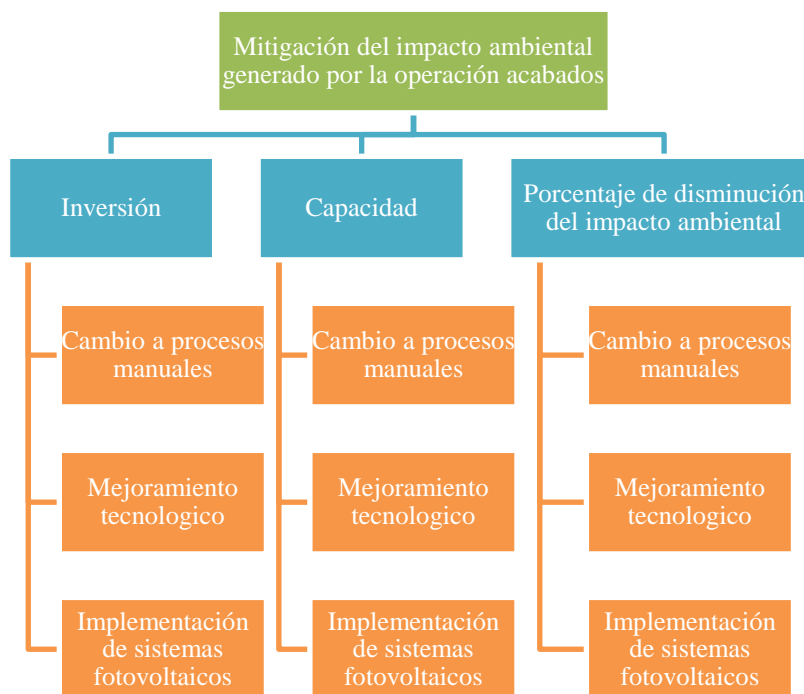


Figura 19. Diagrama jerárquico de la operación acabados

Fuente: Elaboración propia

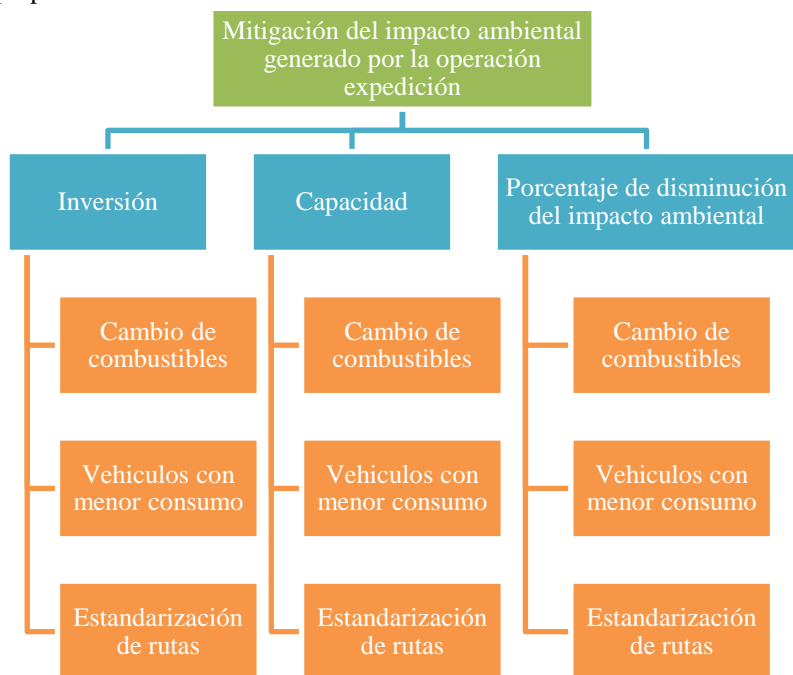


Figura 20. Diagrama jerárquico de la operación expedición

Fuente: Elaboración propia

Después de definido los diagramas jerárquicos, se procede a sintetizar la información de las alternativas presentadas para poder producir juicios sobre cada una. En las tablas de la 18 hasta la 22 se distribuye la información de cada una de las alternativas por operación con respecto a los criterios seleccionados.

Tabla 18.

*Información de las alternativas correspondientes a la operación de corte*

Alternativas	Inversión	Criterios	
		Capacidad	Disminución del impacto ambiental (%)
Reemplazo a tecnología laser	\$21.000.000	233 muebles en 13,995 horas	98,03
Cortes manuales	\$770.600	233 muebles en 3778,625 horas	100
Sustitución a herramientas de menor potencia	\$2.597.540	233 muebles en 401,5 horas	93,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.

*Información de las alternativas correspondientes a la operación de lijado*

Alternativas	Inversión	Criterios	
		Capacidad	Disminución del impacto ambiental (%)
Mantenimiento correctivo y preventivo	\$200.000	233 muebles en 550,6 horas	10
Ejecución manual de la operación	\$157.133	233 muebles en 2099,23 horas	100
Sustitución de la maquinaria	\$2.753.660	233 muebles en 550,6 horas	52,14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20.

*Información de las alternativas correspondientes a la operación de ensamble*

Alternativas	Inversión	Criterios	
		Capacidad	Disminución del impacto ambiental (%)
Mantenimiento preventivo y correctivo	\$180.000	233 muebles en 71,70 horas	10
Ensamble manual	\$196.300	233 muebles en 215,11 horas	100
Cambio de método de ensamble	\$370.900	233 muebles en 3495 horas	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

*Información de las alternativas correspondientes a la operación de acabados*

Alternativas	Inversión	Criterios	
		Capacidad	Disminución del impacto ambiental (%)
Cambio a procesos manuales	\$695.300	233 muebles en 1864 horas	100
Mejoramiento tecnológico	\$3.631.600	233 muebles en 52,47 horas	91,8
Implementación de sistemas fotovoltaicos	\$325.000.000	233 muebles en 52,47 horas	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22.

*Información de las alternativas correspondientes a la operación de expedición*

Alternativas	Inversión	Criterios	
		Capacidad	Disminución del impacto ambiental (%)
Cambio de combustible	\$4.980.000	233 muebles al mes	78,43
Vehículos de menor consumo	\$51.858.177	506 muebles al mes	76,62
Estandarización de rutas	\$322.425	233 muebles al mes	3,43

Fuente: Elaboración propia



### 6.6.2. Priorización de elementos.

Teniendo en cuenta la escala propuesta en la tabla 3 se le asignarán un puntaje a cada par de elementos, de manera que se logren distinguir las preferencias entre los dos elementos. Para realizar la ponderación de los elementos, se designó como grupo decisor a la gerente de operaciones, un ingeniero ambiental y el socio capitalista de la empresa. Luego de obtener las opiniones de cada una de las personas escogidas, se realiza un promedio geométrico, como se evidencia en las tablas 23 hasta la 27, siendo estos promedios la base para realizar las comparaciones pareadas.

Tabla 23.

*Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación corte*

Criterio:	Inversión		Calificación numérica			Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
			Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista		
Cortes manuales	Con relación a	Reemplazo a tecnología laser	7	6	7	7	Muy fuertemente preferible
Sustitución a herramientas de menor potencia	Con relación a	Reemplazo a tecnología laser	5	5	5	5	Fuertemente preferible
Cortes manuales	Con relación a	Sustitución a herramientas de menor potencia	3	3	4	3	Moderadamente preferible

Criterio:	Capacidad		Calificación numérica			Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
			Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista		
Reemplazo a tecnología laser	Con relación a	Cortes manuales	8	8	8	8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible
Reemplazo a tecnología laser	Con relación a	Sustitución a herramientas de menor potencia	5	5	6	5	Fuertemente preferible
Sustitución a herramientas de menor potencia	Con relación a	Cortes manuales	4	4	4	4	Entre moderadamente y fuertemente preferible

Criterio:	% de disminución del impacto ambiental		Calificación numérica			Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
			Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista		
Cortes manuales	Con relación a	Reemplazo a tecnología laser	2	2	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible
Sustitución a herramientas de menor potencia	Con relación a	Reemplazo a tecnología laser	2	2	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible
Sustitución a herramientas de menor potencia	Con relación a	Cortes manuales	2	2	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24.

*Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación lijado*

Criterio:	Inversión		Calificación numérica			Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
			Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista		
Mantenimiento correctivo y preventivo	Con relación a	Sustitución de la maquinaria	5	4	5	5	Fuertemente preferible
Ejecución manual de la operación	Con relación a	Mantenimiento correctivo y preventivo	2	2	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible
Ejecución manual de la operación	Con relación a	Sustitución de la maquinaria	4	3	4	4	Entre moderadamente y fuertemente preferible

Criterio:	Capacidad		Calificación numérica			Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
			Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista		
Mantenimiento correctivo y preventivo	Con relación a	Ejecución manual de la operación	5	4	6	5	Fuertemente preferible
Mantenimiento correctivo y preventivo	Con relación a		1	1	1	1	Igualmente preferible

Criterio:	% de disminución del impacto ambiental	Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia	
Sustitución de la maquinaria	Con relación a	Ejecución manual de la operación	4	4	4	4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
Ejecución manual de la operación	Con relación a	Mantenimiento correctivo y preventivo	6	4	5	5	Fuertemente preferible
Sustitución de la maquinaria	Con relación a	Mantenimiento correctivo y preventivo	4	5	6	5	Fuertemente preferible
Sustitución de la maquinaria	Con relación a	Ejecución manual de la operación	1	1	1	1	Igualmente preferible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25.

*Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación ensamble*

Criterio:	Inversión	Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia	
Mantenimiento preventivo y correctivo	Con relación a	Ensamble manual	7	5	9	7	Muy fuertemente preferible
Ensamble manual	Con relación a	Cambio de método de ensamble	2	2	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible
Mantenimiento preventivo y correctivo	Con relación a	Cambio de método de ensamble	8	7	9	8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible

Criterio:	Capacidad	Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia	
Mantenimiento preventivo y correctivo	Con relación a	Ensamble manual	7	6	7	7	Extremadamente preferible
Mantenimiento preventivo y correctivo	Con relación a	Cambio de método de ensamble	8	8	8	8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible

Ensamble manual	Con relación a	Cambio de método de ensamble	3	4	3	3	Extremadamente preferible
Calificación numérica							
Criterio:	% de disminución del impacto ambiental		Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
Ensamble manual	Con relación a	Mantenimiento preventivo y correctivo	4	4	4	4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
Ensamble manual	Con relación a	Cambio de método de ensamble	1	1	1	1	Igualmente preferible
Cambio de método de ensamble	Con relación a	Mantenimiento preventivo y correctivo	5	5	5	5	Fuertemente preferible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26.

*Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación acabados*

Calificación numérica							
	Criterio: Inversión		Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
Cambio a procesos manuales	Con relación a	Mejoramiento tecnológico	1	1	2	1	Igualmente preferible
Cambio a procesos manuales	Con relación a	Implementación de sistemas fotovoltaicos	4	5	6	5	Fuertemente preferible
Mejoramiento tecnológico	Con relación a	Implementación de sistemas fotovoltaicos	2	4	6	4	Entre moderadamente y fuertemente preferible

Calificación numérica							
	Criterio: Capacidad		Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia
Mejoramiento tecnológico	Con relación a	Cambio a procesos manuales	9	8	9	9	Extremadamente preferible
Implementación de sistemas fotovoltaicos	Con relación a	Cambio a procesos manuales	8	7	9	8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible

Implementación de sistemas fotovoltaicos	Con relación a	Mejoramiento tecnológico	1	1	1	1	Igualmente preferible
--	----------------	--------------------------	---	---	---	---	-----------------------

			Calificación numérica				Planteamiento verbal de la preferencia
Criterio: % de disminución del impacto ambiental			Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	
Mejoramiento tecnológico	Con relación a	Cambio a procesos manuales	2	3	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible
Implementación de sistemas fotovoltaicos	Con relación a	Cambio a procesos manuales	1	1	1	1	Igualmente preferible
Mejoramiento tecnológico	Con relación a	Implementación de sistemas fotovoltaicos	1	4	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.

*Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de alternativas operación expedición*

			Calificación numérica				Planteamiento verbal de la preferencia
Criterio:	Inversión		Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	
Cambio de combustible	Con relación a	Vehículos de menor consumo	2	2	2	2	Entre igualmente y moderadamente preferible
Estandarización de rutas	Con relación a	Cambio de combustible	7	6	8	7	Muy fuertemente preferible
Estandarización de rutas	Con relación a	Vehículos de menor consumo	9	9	9	9	Extremadamente preferible

			Calificación numérica				Planteamiento verbal de la preferencia
Criterio:	Capacidad		Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	
Cambio de combustible	Con relación a	Estandarización de rutas	7	5	6	6	Entre fuertemente y muy fuertemente preferible
Vehículos de menor consumo	Con relación a	Cambio de combustible	8	8	8	8	Entre muy fuertemente y

Criterio:	% de disminución del impacto ambiental	Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia	
							Calificación numérica
Vehículos de menor consumo	Con relación a	Estandarización de rutas	4	2	3	3	extremadamente preferible Moderadamente preferible
Cambio de combustible	Con relación a	Vehículos de menor consumo	6	7	5	6	Entre fuertemente y muy fuertemente preferible
Cambio de combustible	Con relación a	Estandarización de rutas	7	8	9	8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible
Vehículos de menor consumo	Con relación a	Estandarización de rutas	2	3	4	3	Moderadamente preferible

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, el grupo decisor ponderó los criterios para lograr distinguir qué elementos se prefieren más que otros, este puntaje se evidenciará en la tabla 28.

Tabla 28.  
Ponderación realizada por el grupo decisor por cada par de criterios

Criterios	Gerente de operaciones	Ing. Ambiental	Socio Capitalista	Promedio de la calificación	Planteamiento verbal de la preferencia		
						Calificación numérica	
Capacidad	Con relación a	Inversión	1	1	1	Igualmente preferible	
% de disminución del impacto ambiental	Con relación a	Inversión	4	4	3	4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
% de disminución del impacto ambiental	Con relación a	Capacidad	3	4	2	3	Moderadamente preferible

Fuente: Elaboración propia

### 6.6.3. Matriz de comparaciones pareadas entre los elementos.

En este punto se evidencian las matrices cuadradas (con el mismo número de filas y columnas) que contienen las comparaciones pareadas de las alternativas de cada operación y de

los criterios, estas tienen como base los promedios de las ponderaciones dadas por el grupo decisor. Primero, se ubican las ponderaciones realizadas por el grupo decisor en la matriz en cada casilla correspondiente, en el caso de que se estén evaluando la misma alternativa o criterio, su valor corresponde a 1, y en el resto de las casillas se estará evaluando el inverso correspondiente a cada par de alternativas o criterios.

Seguidamente, se busca hallar la matriz de prioridades, la cual sigue los siguientes pasos:

- Realizar una suma de los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas
- Dividir la ponderación de cada par de elementos entre el total de su columna, esto genera la matriz de comparaciones pareadas normalizada.
- Promediar los elementos de cada renglón de la matriz de comparaciones pareadas normalizada para hallar el vector prioridad.

Los pasos anteriormente definidos, muestran sus resultados en las tablas 29 hasta la 34.

Tabla 29.  
*Definición del vector prioridad para alternativas en la operación corte*

Criterio: Inversión							
	Reemplazo a tecnología laser	Cortes manuales	Sustitución a herramientas de menor potencia	Matriz normalizada			Vector prioridad
Reemplazo a tecnología laser	1	1/7	1/5	0,08	0,10	0,05	0,07
Cortes manuales	7	1	3	0,54	0,68	0,71	0,64
Sustitución a herramientas de menor potencia	5	1/3	1	0,38	0,23	0,24	0,28
<b>SUMA</b>	13	1 1/2	4 1/5				

Criterio: Capacidad							
	Reemplazo a tecnología laser	Cortes manuales	Sustitución a herramientas de menor potencia	Matriz normalizada			Vector prioridad
Reemplazo a tecnología laser	1	8	5	0,75	0,62	0,8	0,72
Cortes manuales	1/8	1	1/4	0,09	0,08	0,0	0,07

Sustitución a herramientas de menor potencia	1/5	4	1	0,15	0,31	0,2	0,21
SUMA	1	13	6 1/4				

Criterio: % de disminución del impacto ambiental

	Reemplazo a tecnología laser	Cortes manuales	Sustitución a herramientas de menor potencia	Matriz normalizada			Vector prioridad
Reemplazo a tecnología laser	1	1/2	1/2	0,20	0,14	0,3	0,20
Cortes manuales	2	1	1	0,40	0,29	0,3	0,31
Sustitución a herramientas de menor potencia	2	2	1	0,40	0,57	0,5	0,49
SUMA	5	4	2				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30.

Definición del vector prioridad para alternativas en la operación lijado

Criterio: Inversión

	Mantenimiento correctivo y preventivo	Ejecución manual de la operación	Sustitución de la maquinaria	Matriz normalizada			Vector prioridad
Mantenimiento correctivo y preventivo	1	1/2	5	0,31	0,29	0,50	0,37
Ejecución manual de la operación	2	1	4	0,63	0,57	0,40	0,53
Sustitución de la maquinaria	1/5	1/4	1	0,06	0,14	0,10	0,10
SUMA	3 1/5	1 3/4	10				

Criterio: Capacidad

	Mantenimiento correctivo y preventivo	Ejecución manual de la operación	Sustitución de la maquinaria	Matriz normalizada			Vector prioridad
Mantenimiento correctivo y preventivo	1	5	1	0,45	0,50	0,4	0,47
Ejecución manual de la operación	1/5	1	1/4	0,09	0,10	0,1	0,10
Sustitución de la maquinaria	1	4	1	0,45	0,40	0,4	0,43
SUMA	2	10	2 1/4				

Criterio: % de disminución del impacto ambiental

	Mantenimiento correctivo y preventivo	Ejecución manual de la operación	Sustitución de la maquinaria	Matriz normalizada			Vector prioridad
--	---------------------------------------	----------------------------------	------------------------------	--------------------	--	--	------------------



Mantenimiento correctivo y preventivo	1	1/4	1/5	0,10	0,11	0,1	0,10
Ejecución manual de la operación	4	1	1	0,40	0,44	0,5	0,43
Sustitución de la maquinaria	5	1	1	0,50	0,44	0,5	0,47
SUMA	10	2	2				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.

Definición del vector prioridad para alternativas y criterios operación ensamble

Criterio: Inversión

	Mantenimiento preventivo y correctivo	Ensamble manual	Cambio de método de ensamble	Matriz normalizada			Vector prioridad
Mantenimiento preventivo y correctivo	1	7	8	0,79	0,82	0,73	0,78
Ensamble manual	1/7	1	2	0,11	0,12	0,18	0,14
Cambio de método de ensamble	1/8	1/2	1	0,10	0,06	0,09	0,08
SUMA	1 1/4	8 1/2	11				

Criterio: Capacidad

	Mantenimiento preventivo y correctivo	Ensamble manual	Cambio de método de ensamble	Matriz normalizada			Vector prioridad
Mantenimiento preventivo y correctivo	1	7	8	0,79	0,84	0,7	0,77
Ensamble manual	1/7	1	3	0,11	0,12	0,3	0,16
Cambio de método de ensamble	1/8	1/3	1	0,10	0,04	0,1	0,07
SUMA	1	8	12				

Criterio: % de disminución del impacto ambiental

	Mantenimiento preventivo y correctivo	Ensamble manual	Cambio de método de ensamble	Matriz normalizada			Vector prioridad
Mantenimiento preventivo y correctivo	1	1/4	1/5	0,10	0,11	0,1	0,10
Ensamble manual	4	1	1	0,40	0,44	0,5	0,43
Cambio de método de ensamble	5	1	1	0,50	0,44	0,5	0,47

SUMA

10

2

2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32.

*Definición del vector prioridad para alternativas en la operación acabados*

Criterio: Inversión

	Cambio a procesos manuales	Mejoramiento tecnológico	Implementación de sistemas fotovoltaicos	Matriz normalizada			Vector prioridad
Cambio a procesos manuales	1	1	5	0,45	0,44	0,50	0,47
Mejoramiento tecnológico	1	1	4	0,45	0,44	0,40	0,43
Implementación de sistemas fotovoltaicos	1/5	1/4	1	0,09	0,11	0,10	0,10
SUMA	2 1/5	2 1/4	10				

Criterio: Capacidad

	Cambio a procesos manuales	Mejoramiento tecnológico	Implementación de sistemas fotovoltaicos	Matriz normalizada			Vector prioridad
Cambio a procesos manuales	1	1/9	1/8	0,06	0,05	0,1	0,06
Mejoramiento tecnológico	9	1	1	0,50	0,47	0,5	0,48
Implementación de sistemas fotovoltaicos	8	1	1	0,44	0,47	0,5	0,46
SUMA	18	2	2 1/8				

Criterio: % de disminución del impacto ambiental

	Cambio a procesos manuales	Mejoramiento tecnológico	Implementación de sistemas fotovoltaicos	Matriz normalizada			Vector prioridad
Cambio a procesos manuales	1	1/2	1	0,25	0,25	0,3	0,25
Mejoramiento tecnológico	2	1	2	0,50	0,50	0,5	0,50
Implementación de sistemas fotovoltaicos	1	1/2	1	0,25	0,25	0,3	0,25
SUMA	4	2	4				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.

*Definición del vector prioridad para la operación expedición*

Criterio: Inversión							
	Cambio de combustible	Vehículos de menor consumo	Estandarización de rutas	Matriz normalizada			Vector prioridad
Cambio de combustible	1	2	1/7	0,12	0,17	0,11	0,13
Vehículos de menor consumo	1/2	1	1/9	0,06	0,08	0,09	0,08
Estandarización de rutas	7	9	1	0,82	0,75	0,80	0,79
SUMA	8 1/2	12	1 1/4				

Criterio: Capacidad							
	Cambio de combustible	Vehículos de menor consumo	Estandarización de rutas	Matriz normalizada			Vector prioridad
Cambio de combustible	1	1/8	1	0,10	0,10	0,1	0,10
Vehículos de menor consumo	8	1	8	0,80	0,80	0,8	0,80
Estandarización de rutas	1	1/8	1	0,10	0,10	0,1	0,10
SUMA	10	1	10				

Criterio: % de disminución del impacto ambiental							
	Cambio de combustible	Vehículos de menor consumo	Estandarización de rutas	Matriz normalizada			Vector prioridad
Cambio de combustible	1	6	8	0,77	0,82	0,7	0,75
Vehículos de menor consumo	1/6	1	3	0,13	0,14	0,3	0,17
Estandarización de rutas	1/8	1/3	1	0,10	0,05	0,1	0,08
SUMA	1	7	12				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34.  
*Definición del vector prioridad para los criterios*

	Criterios			Matriz normalizada			Vector prioridad
	Inversión	Capacidad	% disminución del impacto ambiental				
Inversión	1	1	1/4	0,2	0,20	0,16	0,2
Capacidad	1	1	1/3	0,2	0,20	0,21	0,2
% disminución del impacto ambiental	4	3	1	0,7	0,60	0,63	0,6
SUMA	6	5	2				

Fuente: Elaboración propia

#### **6.6.3.1. Coeficiente de consistencia.**

Se debe definir si las decisiones tomadas por el grupo decisor son o no aceptables, para eso se mide el grado de consistencia, esto define si se continua o no con el proceso de decisión, en caso de que no haya consistencia se debe reconsiderar y posiblemente modificar el juicio sobre las comparaciones realizadas.

Para definir el índice de consistencia primero se debe realizar la sumatoria del producto entre las filas de la matriz de comparaciones pareadas y el vector prioridad correspondiente a cada elemento. Luego se divide el resultado entre su elemento correspondiente en vector prioridad, cuando ya se tengan todos los resultados se realiza un promedio entre ellos, dando como resultado  $\lambda_{max}$ , como se muestra en las tablas desde la 35 hasta la 40.

Tabla 35.

*Cálculo de  $\lambda_{max}$  de las alternativas de la operación corte*

Coeficiente de consistencia- Criterio Inversión		
	Paso 1	Paso 2
Reemplazo a tecnología laser	0,22	3,01
Cortes manuales	2,01	3,12
Sustitución a herramientas de menor potencia	0,87	3,06
$\lambda_{max}$		3,07

---

Coeficiente de consistencia- Criterio Capacidad		
	Paso 1	Paso 2
Reemplazo a tecnología laser	2,32	3,20
Cortes manuales	0,21	3,02
Sustitución a herramientas de menor potencia	0,63	3,07
$\lambda_{max}$		3,10

---

Coeficiente de consistencia- Criterio % de disminución del impacto ambiental		
	Paso 1	Paso 2
Reemplazo a tecnología laser	0,60	3,03
Cortes manuales	0,95	3,05
Sustitución a herramientas de menor potencia	1,51	3,08
$\lambda_{max}$		3,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36.

*Cálculo de  $\lambda_{max}$  de las alternativas de la operación lijado*

Coeficiente de consistencia- Criterio Inversión		
	Paso 1	Paso 2
Mantenimiento correctivo y preventivo	1,14	3,12
Ejecución manual de la operación	1,67	3,14
Sustitución de la maquinaria	0,31	3,03
$\lambda_{max}$		3,09

---

Coeficiente de consistencia- Criterio Capacidad		
	Paso 1	Paso 2
Mantenimiento correctivo y preventivo	1,40	3,01
Ejecución manual de la operación	0,30	3,00
Sustitución de la maquinaria	1,30	3,01
$\lambda_{max}$		3,01

---

Coeficiente de consistencia- Criterio % de disminución del impacto ambiental		
	Paso 1	Paso 2
Mantenimiento correctivo y preventivo	0,30	3,00
Ejecución manual de la operación	1,30	3,01
Sustitución de la maquinaria	1,40	3,01
$\lambda_{max}$		3,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37.

*Cálculo de  $\lambda_{max}$  de las alternativas de la operación ensamble*

Coeficiente de consistencia- Criterio Inversión		
	Paso 1	Paso 2
Mantenimiento preventivo y correctivo	2,40	3,08
Ensamble manual	0,41	3,02
Cambio de método de ensamble	0,25	3,01
$\lambda_{max}$		3,04

---

Coeficiente de consistencia- Criterio Capacidad		
	Paso 1	Paso 2
Mantenimiento preventivo y correctivo	2,48	3,25
Ensamble manual	0,49	3,06
Cambio de método de ensamble	0,22	3,02
$\lambda_{max}$		3,11

---

Coeficiente de consistencia- Criterio % de disminución del impacto ambiental		
	Paso 1	Paso 2
Mantenimiento preventivo y correctivo	0,30	3,00
Ensamble manual	1,30	3,01
Cambio de método de ensamble	1,40	3,01
$\lambda_{max}$		3,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38.

*Cálculo de  $\lambda_{max}$  de las alternativas de la operación acabados*

Coeficiente de consistencia- Criterio Inversión		
	Paso 1	Paso 2
Cambio a procesos manuales	1,40	3,01
Mejoramiento tecnológico	1,30	3,01
Implementación de sistemas fotovoltaicos	0,30	3,00
$\lambda_{max}$		3,01

---

Coeficiente de consistencia- Criterio Capacidad		
	Paso 1	Paso 2
Cambio a procesos manuales	0,17	3,00
Mejoramiento tecnológico	1,45	3,00
Implementación de sistemas fotovoltaicos	1,39	3,00
$\lambda_{max}$		3,00

---

Coeficiente de consistencia- Criterio % de disminución del impacto ambiental		
	Paso 1	Paso 2
Cambio a procesos manuales	0,75	3,00
Mejoramiento tecnológico	1,50	3,00
Implementación de sistemas fotovoltaicos	0,75	3,00
$\lambda_{max}$		3,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39.

*Cálculo de  $\lambda_{max}$  de las alternativas de la operación expedición*

Coeficiente de consistencia- Criterio Inversión		
	Paso 1	Paso 2
Cambio de combustible	0,40	3,01
Vehículos de menor consumo	0,23	3,00
Estandarización de rutas	2,41	3,05
$\lambda_{max}$		3,02

Coeficiente de consistencia- Criterio Capacidad		
	Paso 1	Paso 2
Cambio de combustible	0,30	3,00
Vehículos de menor consumo	2,40	3,00
Estandarización de rutas	0,30	3,00
$\lambda_{max}$		3,00

Coeficiente de consistencia- Criterio % de disminución del impacto ambiental		
	Paso 1	Paso 2
Cambio de combustible	2,39	3,17
Vehículos de menor consumo	0,52	3,04
Estandarización de rutas	0,23	3,01
$\lambda_{max}$		3,07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40.

*Cálculo de  $\lambda_{max}$  de los criterios*

	Criterios	
	Paso 1	Paso 2
Inversión	0,53	3,01
Capacidad	0,58	3,01
% disminución del impacto ambiental	1,91	3,02
$\lambda_{max}$		3,01

Fuente: Elaboración propia

Cuando ya se obtiene el resultado de  $\lambda_{max}$  para cada elemento, se define el índice de consistencia (IC) mediante la ecuación 2.

Ecuación 2. Índice de consistencia

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Donde,

n: número de criterios

El número de criterios para este caso, vendría siendo de tres (inversión de implementación, capacidad y porcentaje de disminución del impacto ambiental), por consiguiente, se procede a calcular el IC para cada criterio asignado a las alternativas por operación de la siguiente forma:

- **Operación corte**

$$IC \text{ Inversión} = \frac{3,07 - 3}{3 - 1} = 0,03$$

$$IC \text{ Capacidad} = \frac{3,1 - 3}{3 - 1} = 0,048$$

$$IC \% \text{ de disminución del imp. ambiental} = \frac{3,05 - 3}{3 - 1} = 0,03$$

- **Operación lijado**

$$IC \text{ Inversión} = \frac{3,09 - 3}{3 - 1} = 0,05$$

$$IC \text{ Capacidad} = \frac{3,01 - 3}{3 - 1} = 0,003$$

$$IC \% \text{ de disminución del imp. ambiental} = \frac{3,01 - 3}{3 - 1} = 0,005$$

- **Operación ensamble**

$$IC \text{ Inversión} = \frac{3,04 - 3}{3 - 1} = 0,02$$

$$IC \text{ Capacidad} = \frac{3,11 - 3}{3 - 1} = 0,093$$

$$IC \% \text{ de disminución del imp. ambiental} = \frac{3,01 - 3}{3 - 1} = 0$$



- **Operación acabados**

$$IC \text{ Inversión} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = 0,00$$

$$IC \text{ Capacidad} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = 0,001$$

$$IC \% \text{ de disminución del imp. ambiental} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = 0$$

- **Operación expedición**

$$IC \text{ Inversión} = \frac{3,02 - 3}{3 - 1} = 0,019$$

$$IC \text{ Capacidad} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = 0$$

$$IC \% \text{ de disminución del imp. ambiental} = \frac{3,07 - 3}{3 - 1} = 0,005$$

De igual manera se determinó el índice de consistencia para el conjunto de criterios, como se evidencia a continuación:

$$IC \text{ Criterios} = \frac{3,01 - 3}{3 - 1} = 0,005$$

Teniendo el índice de consistencia, se procede a hallar el índice de consistencia aleatorio (IA), el cual depende del número de elementos que se comparan, asumiendo los valores evidenciados en la tabla 22

Tabla 41.

*Índice aleatorio de consistencia por cantidad de elementos que se comparan*

Nº de elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio de Consistencia (IA)	0	0	0,58	0,89	1,11	1,24	1,32	1,40	1,45	1,49

Fuente: Elaboración propia, a partir de (Hurtado & Gérard, 2005)

Como se está trabajando con tres elementos que se comparan, el índice aleatorio de consistencia que se debe escoger es del de 0,58. Para calcular la razón de consistencia (RC) se debe dividir el índice de consistencia (IC) entre el índice aleatorio de consistencia (IA), como se evidencia en la ecuación 3.

Ecuación 3. Razón de consistencia

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Teniendo en cuenta la ecuación 3, se procede a calcular el RC para cada criterio asignado a las alternativas presentadas para cada operación de la siguiente forma:

- **Operación corte**

$$RC \text{ inversión} = \frac{0,03}{0,58} = 0,056$$

$$RC \text{ capacidad} = \frac{0,03}{0,58} = 0,05$$

$$RC \% \text{ disminución imp. ambiental} = \frac{0}{0,58} = 0,00$$

- **Operación lijado**

$$RC \text{ inversión} = \frac{0,05}{0,58} = 0,082$$

$$RC \text{ capacidad} = \frac{0,003}{0,58} = 0,005$$

$$RC \% \text{ disminución imp. ambiental} = \frac{0,00}{0,58} = 0,00$$

- **Operación ensamble**

$$RC \text{ Capacidad} = \frac{0,054}{0,58} = 0,093$$

$$RC \text{ Inversion} = \frac{0,02}{0,58} = 0,030$$

$$RC \% \text{ disminución imp. ambiental} = \frac{0,00}{0,58} = 0,00$$

- **Operación acabados**

$$RC \text{ Capacidad} = \frac{0,001}{0,58} = 0,005$$

$$RC \text{ Inversion} = \frac{0}{0,58} = 0,001$$

$$RC \% \text{ disminución imp. ambiental} = \frac{0}{0,58} = 0,00$$

- **Operación expedición**

$$RC \text{ inversión} = \frac{0,01}{0,58} = 0,019$$

$$RC \text{ capacidad} = \frac{0,00}{0,58} = 0,00$$

$$RC \% \text{ disminución imp. ambiental} = \frac{0,04}{0,58} = 0,06$$

De igual manera se determinó la razón de consistencia para el conjunto de criterios, como se evidencia a continuación:

$$RC \text{ Criterios} = \frac{0,005}{0,58} = 0,008$$

Basándose en los resultados de cada uno de los RC, es evidente que estos valores no exceden de 0,10, esto quiere decir que los juicios realizados por el grupo decisor son consistentes y se pueden continuar con la elección de la mejor alternativa. En el caso que alguno de los RC de como resultado mayor de 0,10, se debe reevaluar las ponderaciones asignadas.

Luego de evidenciar la consistencia de los datos, se establece la matriz de prioridad para cada alternativa definida para cada operación frente a cada criterio como se muestra en las tablas desde la 42 hasta la 46.

Tabla 42.

*Matriz de vectores de prioridad de la operación corte*

Vectores de prioridad operación corte			
	Inversión	Capacidad	% disminución del impacto ambiental
Cambio a procesos manuales	0,47	0,06	0,25
Mejoramiento tecnológico	0,43	0,48	0,50
Implementación de sistemas fotovoltaicos	0,10	0,46	0,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43.

*Matriz de vectores de prioridad de la operación lijado*

Vectores de prioridad operación lijado			
	Inversión	Capacidad	% disminución del impacto ambiental
Mantenimiento correctivo y preventivo	0,37	0,47	0,10
Ejecución manual de la operación	0,53	0,10	0,43
Sustitución de la maquinaria	0,10	0,43	0,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44.

*Matriz de vectores de prioridad de la operación ensamble*

Vectores de prioridad operación ensamble			
	Inversión	Capacidad	% disminución del impacto ambiental
Mantenimiento preventivo y correctivo	0,78	0,77	0,10
Ensamble manual	0,14	0,16	0,43
Cambio de método de ensamble	0,08	0,07	0,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45.

*Matriz de vectores de prioridad de la operación acabados*

Vectores de prioridad operación acabados			
	Inversión	Capacidad	% disminución del impacto ambiental
Cambio a procesos manuales	0,47	0,06	0,25
Mejoramiento tecnológico	0,43	0,48	0,50
Implementación de sistemas fotovoltaicos	0,10	0,46	0,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46.

*Matriz de vectores de prioridad de la operación expedición*

Vectores de prioridad operación expedición			
	Inversión	Capacidad	% disminución del impacto ambiental
Cambio de combustible	0,13	0,10	0,75
Vehículos de menor consumo	0,08	0,80	0,17
Estandarización de rutas	0,79	0,10	0,08

Fuente: Elaboración propia

#### 6.6.4. Ranking de alternativas.

Considerando la matriz de prioridad de las alternativas de cada operación y el vector prioridad de los criterios, se debe realizar la sumatoria del producto entre las filas de la matriz de prioridad y el vector prioridad correspondiente a cada elemento, esto con el fin de obtener la priorización de cada alternativa establecida por operación, como se evidencia en las tablas desde la 47 hasta la 51.

Tabla 47.

*Vector de priorización de las alternativas de la operación corte*

Priorización de las alternativas	
Reemplazo a tecnología laser	0,28
Cortes manuales	0,32
Sustitución a herramientas de menor potencia	0,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48.

*Vector de priorización de las alternativas de la operación lijado*

Priorización de las alternativas	
Mantenimiento correctivo y preventivo	0,22
Ejecución manual de la operación	0,39
Sustitución de la maquinaria	0,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49.

*Vector de priorización de las alternativas de la operación ensamble*

Priorización de las alternativas	
Mantenimiento preventivo y correctivo	0,35
Ensamble manual	0,33
Cambio de método de ensamble	0,32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50.

*Vector de priorización de las alternativas de la operación acabados*

Priorización de las alternativas	
Cambio a procesos manuales	0,25
Mejoramiento tecnológico	0,48
Implementación de sistemas fotovoltaicos	0,26

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51.

*Vector de priorización de las alternativas de la operación expedición*

Priorización de las alternativas	
Cambio de combustible	0,52
Vehículos de menor consumo	0,28
Estandarización de rutas	0,21

Fuente: Elaboración propia

### 6.6.5. Síntesis

Teniendo en cuenta los resultados evidenciados en las tablas desde la 47 hasta la 51, para minimizar el impacto ambiental generado por la operación corte, se debe implementar la alternativa correspondiente a sustitución a herramientas de menor potencia, ya que posee una priorización del 40%, esto quiere decir que se deben reemplazar herramientas como la sierra circular, además de la sierra sin fin, por unas que tengan menor consumo de energía eléctrica y por

ende generen una disminución del 27,77% y de 72,22% respectivamente, haciendo una inversión de \$2.597.540 pesos colombianos y continuando con la producción aproximada de 233 muebles mensuales.

En el caso de lijado, se determinó que la alternativa de sustitución de maquinaria, con un 40% de priorización, es la más adecuada para disminuir las emisiones correspondientes a esta operación, haciendo que se cambie por un taladro que posee un kit de lijas para cumplir con la misma función de la pulidora y cantadora, teniendo esta un consumo eléctrico menor y haciendo que se reduzcan las emisiones en un 52,14%, para eso se realiza un inversión de \$ 2.753.660 pesos colombianos, además esta herramienta permite mantener la misma cantidad de muebles lijados y en el mismo tiempo, es decir, puede lijar aproximadamente 233 muebles en 550,6 horas.

Para el ensamble, se determinó realizar un mantenimiento preventivo y correctivo a las herramientas utilizadas, es decir, el taladro, donde se haría una inversión de \$180.000 pesos colombianos y el taladro seguiría funcionando a igual capacidad, es decir, seguiría armando aproximadamente 233 muebles de madera en 71,70 horas y esto haría que se disminuyera el consumo de energía en un 10% por ende, el impacto ambiental disminuiría en esa misma proporción. Esta alternativa al aplicarle la metodología obtuvo el 35% de priorización.

En la operación de acabados, se debe escoger la alternativa correspondiente al mejoramiento tecnológico del compresor debido a que posee una priorización del 48%. Esto quiere decir que se deben cambiar los compresores de aire que existen actualmente en la empresa por unos que tengan una menor potencia, lo que conllevaría que se disminuya el 91,8% de las emisiones producidas por la operación de acabados, incurriendo en una inversión de \$3.631.600 y logrando realizar la misma producción mensual e incluso un poco más debido a que el compresor de Dewalt posee un área mayor de pintado (350-370 mm).

Y por último, la metodología presenta como mejor alternativa para la operación de expedición la del cambio de combustible de diésel a gas natural para todos los camiones pertenecientes a la empresa debido a que presenta una priorización de 52%, haciendo una inversión

de \$4.980.000, este cambio ayuda a que disminuyan las emisiones de la operación en un 78,43%, manteniendo la misma cantidad de muebles que son distribuidos, ya que la capacidad del camión no es alterada con esta alternativa, es decir, se seguirían llevando aproximadamente 233 muebles mensuales.



## Conclusiones

Las empresas productoras de muebles de madera al desarrollar sus actividades han dejado a un lado temas importantes como la conservación del ambiente. Por ello, el cálculo de la huella de carbono y el diseño de estrategias para minimizar el impacto producido en la empresa Legno's constituye un soporte para las organizaciones que desean buscar una forma de mitigar sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Al aplicar la metodología PAS 2050, se pudo establecer que la empresa Legno's al desarrollar sus operaciones emitió un total de 13,58 toneladas de CO<sub>2</sub>eq en el año 2018, de las cuales 8,62 toneladas de CO<sub>2</sub>eq fueron generadas por equipos con consumo de energía eléctrica, siendo la operación de acabados la de mayor producción de emisiones con 5,94 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, lo que corresponde al 43,74 % de las emisiones de la empresa, esto es generado debido a la utilización de cuatro compresores de aire para la pintura y el barnizado de los muebles, el cual posee una potencia de 14,5 kW, más el tiempo promedio de utilización del mismo que corresponde a 52,47 horas.

El cálculo de la huella de carbono realizado a la empresa Legno's logró evidenciar que indudablemente se necesitan desarrollar acciones que disminuyan el impacto ambiental que ejerce. Por ello, se definieron con ayuda de los socios de la empresa tres criterios, los cuales corresponden a inversión, capacidad y porcentaje de disminución del impacto ambiental, siendo estos los que afectaran directamente a la decisión.

De igual forma se llegó a un consenso con la gerente de operaciones para concretar tres alternativas de minimización para cada operación del proceso de fabricación de muebles de madera, donde se definió que la mejor estrategia para minimizar el impacto en la operación de corte es la de sustitución a herramientas de menor potencia, ya que posee una priorización del 40%, para la operación de lijado se escoge la alternativa de sustitución de maquinaria, con un 40% de priorización, seguidamente, la metodología muticriterio de evaluación jerárquica (AHP) selecciona para la operación de ensamble la alternativa de realizar un mantenimiento preventivo y

correctivo a las herramientas utilizadas, la cual obtuvo un 35% de priorización, de igual manera, la mejor opción para disminuir el impacto ambiental generado por la operación de acabados es la del mejoramiento de las condiciones tecnológicas, con un nivel de priorización del 48% y por último, en la operación de expedición fue seleccionada como mejor alternativa el cambio de combustibles (gas natural) con un nivel de priorización del 52%.

Si se implementan estas estrategias la empresa incurrirá en un costo total de \$14.142.800 pesos colombianos, haciendo que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan en un 72,7%, es decir, la empresa pasará de emitir 13,58 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a sólo 3,71 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año, todo esto sin afectar la capacidad productiva aproximada de 233 muebles mensuales.

## Referencias

- Asociación Chilena de Seguridad (ACHS). (19 de Agosto de 2015). *Calcular tu huella de carbono beneficia a tu Pyme y al planeta*. Recuperado el 2018, de <http://www.achs.cl/portal/ACHS-Corporativo/newsletters/pymes-achs-al-dia/Paginas/Calcular-tu-huella-de-carbono-beneficia-a-tu-Pyme-y-al-planeta.aspx#.W5xWWehKiM8>
- Avila, R. (2000). *El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras. El caso de Brasil*. (Informe técnico). Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Recuperado el 2018, de [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/proyecto/139jpn/document/3dctos/sirtplan/infotec/2ahptx.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/proyecto/139jpn/document/3dctos/sirtplan/infotec/2ahptx.pdf)
- Bancolombia. (2017). *Disminuir la huella de carbono agrega valor y beneficios a los negocios*. Recuperado de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/acerca-de/informacion-corporativa/sostenibilidad/actualidad-sostenible/disminuir-huella-de-carbono-agrega-valor-y-beneficios-a-negocios>
- Benavides, H. y León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. (Nota técnica). Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales-IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Berumen, S. y Llamazares, F. (2007). *La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (Como el AHP) en un entorno de competitividad creciente*. Bogotá: Fundación Grupo Santander. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v20n34/v20n34a04.pdf>
- Bonilla, M., Herrera, H. y Puertas, Y. (2018). *Factores de emisión del Sistema Interconectado Nacional Colombia- SIN*. Unidad de Planeación Minero Energética.

- British Standards Institution (BSI). (2008). *Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services*. Inglaterra: British Library.
- Cámara de comercio de Sincelejo. (2017). *Informe económico 2017*. Sincelejo: Superintendencia de industria y comercio. Recuperado de <http://ccsincelejo.org/wp-content/uploads/2018/02/Informe-Econ%C3%B3mico-Sucre-2017.pdf>
- Carnicer, J. M. (2008). *Módulo I: Contaminación Ambiental*. España: Escuela de Negocios. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/file/18607/download?token=DQeBhR8t>
- Colque, M. y Sánchez, V. (2007). *Los Gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el Calentamiento Global?* Perú.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2012). *Métodologías de cálculo de la huella de carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina*. (Documento de trabajo). Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37288/Metodolog%EDAs\\_calculo\\_HC\\_AL.pdf;jsessionid=EDAADC9E60D98DE7CAF6320235F5D3E5?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37288/Metodolog%EDAs_calculo_HC_AL.pdf;jsessionid=EDAADC9E60D98DE7CAF6320235F5D3E5?sequence=1)
- Contreras, E. (2010). *Evaluación multicriterio*. Recuperado de [https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/7/35117/ev\\_social\\_ILPES\\_2009\\_4\\_multicriterio.pdf](https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/7/35117/ev_social_ILPES_2009_4_multicriterio.pdf)
- Dlugokencky, E., Houweling, S., Dirksen, R., Schröder, M., Hurst, D. y Forster, P. (2016). Observación del vapor de agua. *Desastres (no) naturales: cómo comunicar los vínculos entre los fenómenos extremos y el cambio climático*, 65(2). Recuperado el 2018, de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3440](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3440)
- EcoHabitar. (10 de Febrero de 2012). Reducir un 30% las emisiones de gases de efecto invernadero es más rentable. *EcoHabitar*, 33. Recuperado el 2019, de <http://www.ecohabitar.org/reducir-un-30-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-es-mas-rentable/>

- Espíndola, C. y Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. (Informe tecnológico). *SciELO*, 23.  
doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- Estévez, R. (25 de Mayo de 2013). *¿Conoces en qué consiste el GHG Protocol?* Recuperado de <https://www.ecointeligencia.com/2013/05/ghg-protocol/>
- Feijóo, K. (29 de Abril de 2014). *¿Qué es la Huella de Carbono?* Recuperado el 2019, de <http://www.aclimatecolombia.org/huella-de-carbono/>
- Finanzas personales. (1 de Noviembre de 2007). *Convertir su carro a gas, una opción.* Recuperado el 2018, de <https://www.finanzaspersonales.co/gaste-eficientemente/articulo/convertir-su-carro-a-gas-una-opcion/36031>
- Freijo, J. (2012). *Criterios de selección de un estándar para la medida de la huella de carbono.* Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental. (Curso de maestría). España: Escuela de Organización Industrial. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/file/19661/download?token=zVv99dx6>
- gasNatural Fundación. (2014). *El impacto ambiental de las distintas fuentes energeticas de generación eléctrica.* Recuperado el Noviembre de 2018, de [http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0\\_1150\\_1.pdf](http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_1150_1.pdf)
- GHG Protocol. (2018). *What is GHG Protocol?* Recuperado de <https://ghgprotocol.org/about-us>
- Global Carbon Project. (13 de Noviembre de 2017). *Global Carbon Budget 2017.* Recuperado de <https://www.earth-syst-sci-data.net/10/405/2018/essd-10-405-2018.pdf>
- Guallasamin, K. y Dimón, D. (2018). *Huella de carbono del cultivo de rosas en Ecuador comparando dos metodologías: GHG Protocol vs. PAS 2050.* Ecuador. Recuperado de <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/3091/2382>
- Hurtado, T. y Gérard, B. (2005). *El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: Aplicación en la selección del*

- proveedor para la empresa gráfica comercial MYE S.R.L.* Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado el 2019, de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano\\_hg/contenido.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/contenido.htm)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2016). *Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero- Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá: Punto aparte.
- IDEAM. (2015). *Inventario Nacional de gases de efecto invernadero (GEI) de Colombia*. Bogotá. Recuperado el 2018, de Tercera comunicación nacional de cambio climático de Colombia: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla\\_INGEI.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla_INGEI.pdf)
- Millán, A. y Narváez, J. (2015). *Huella de carbono*. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. Recuperado de <https://campussostenible.org/wp-content/uploads/2017/04/anexo-13-huella-de-carbono-2015.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente). (2016). *Contaminación atmosférica*. Bogotá. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/contaminacion-atmosferica>
- Minambiente. (2019). *Gases de efecto invernadero*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=462:plantilla-cambio-climatico-18>
- Moreno, C. (2016). *Efecto Invernadero, los principales responsables CO2 vs. PFC*. Recuperado de <http://www.ambiente-ecologico.com/revist59/gomez59.htm>
- Oceana. (2014). *Gases de efecto invernadero*. Recuperado el 2019, de <https://eu.oceana.org/es/node/46897>
- Olivalle. (2015). *PAS 2050 Verificación de la Huella de Carbono (VHC)*. España. Recuperado de <https://olipe.com/vhc>

Organización internacional de normalización (ISO). (2006). *Gases de efecto invernadero — Part 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero*. Organización internacional de normalización (ISO). Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>

Peña, E. (2016). *Menor huella de carbono aumenta las ganancias*. Recuperado de <http://www.portafolio.co/opinion/otros-columnistas-1/menor-huella-de-carbono-aumenta-las-ganancias-500828>

PricewaterhouseCoopers. (2016). *Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. España. Recuperado de <https://www.pwc.es/es/quienes-somos/rsc/assets/emision-gases-efecto-invernadero.pdf>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (Mayo de 2016). *Resumen de las evaluaciones regionales del sexto informe sobre las perspectivas del medio ambiente mundial: Resultados principales y mensajes político*. Nairobi: UNEP. Recuperado de [https://cnnespanol2.files.wordpress.com/2017/06/resumen\\_de\\_las\\_evaluaciones\\_regionales\\_del\\_sexto\\_informe\\_sobre\\_las\\_perspectivaas\\_del\\_medio\\_ambiente\\_mundial\\_geo-6\\_resultados\\_principales\\_y\\_mensajes\\_-1.pdf](https://cnnespanol2.files.wordpress.com/2017/06/resumen_de_las_evaluaciones_regionales_del_sexto_informe_sobre_las_perspectivaas_del_medio_ambiente_mundial_geo-6_resultados_principales_y_mensajes_-1.pdf)

Ramirez, M. (2000). *El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco*. Chaco. Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/2-Humanidades/H-004.pdf>

Salazar, S. (Noviembre de 2018). Generalidades de la empresa Legno's. (R. Hernández y V. Ramos, Entrevistadores) Colombia.

SF6 Chile. (Julio de 2015). *¿Sabes que es el Hexafloruro de Azufre o SF6?* Recuperado de <http://prixma.com.co/sabes-que-es-el-hexafloruro-de-azufre-o-sf6/>

- SGS Colombia S.A.S. (2016). *PAS 2050, huella de carbono*. Recuperado de <https://www.sgs.co/es-es/sustainability/facilities-and-production/product-and-packaging/carbon-footprint/pas-2050-carbon-footprint>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). (2016). *Gases de Efecto Invernadero, GEI*. Bogotá: Ministerio de Ambiente. Recuperado de <http://www.siac.gov.co/climaticogei>
- Sostenibilidad para todos. (2012). *¿Cómo influyen los gases de efecto invernadero en el calentamiento global?* Recuperado el 2019, de <https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/gases-efecto-invernadero-influyen-calentamiento-global/>
- Spiegel, J. y Maystre, L. (2012). *Control de la contaminación ambiental*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/55.pdf>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2019). *Calculadora huella de carbono*. Recuperado de <https://concentra.co/calculadora-huella-carbono>
- Valencia, A., Suárez, R., Sánchez, A., Cardozo, E., Bonilla, M. y Buitrago, C. (2010). *Gestión de la contaminación ambiental: cuetsión de corresponsabilidad*. Bogotá: Revista de ingeniería .
- Viva solar. (2019). *Kit solar N° 4*. Recuperado de <https://www.vivasolar-colombia.com/productos/paquetes-completos/>
- Wang, S., Wang, W. y Yang, H. (2018). *Comparison of Product Carbon Footprint Protocols: Case Study on Medium-Density Fiberboard in China*. China. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/327796419\\_Comparison\\_of\\_Product\\_Carbon\\_Footprint\\_Protocols\\_Case\\_Study\\_on\\_Medium-](https://www.researchgate.net/publication/327796419_Comparison_of_Product_Carbon_Footprint_Protocols_Case_Study_on_Medium-)



Density\_Fiberboard\_in\_China/fulltext/5ba4ef3492851ca9ed1b1d1c/327796419\_Compari  
son\_of\_Product\_Carbon\_Footprint\_Protocols\_Case\_Study\_on

World Resorces Institute (WRI). (2016). *Greenhouse Gas Protocol*. Recuperado de  
<http://www.wri.org/our-work/project/greenhouse-gas-protocol>

## Anexos

### Anexo 1. Fotografías de visita a la empresa





Anexo 2. Tiempos de procesamiento en el proceso de fabricación de muebles de madera de Legno's durante el año 2018





Mes	Cantidad total de muebles fabricados	Tipos de muebles fabricados	Cantidad de muebles	Cantidad de piezas por mueble	Cantidad de piezas totales	Operación	Tiempo de ejecución promedio por pieza/mueble (horas)	Tiempo total promedio de ejecución (horas)	Tiempo de espera promedio por pieza/mueble (horas)	Tiempo total promedio de espera (horas)	Tiempo total promedio de proceso (horas)
Enero	200	Sillas de bar	30	16	2890						
		Camas	25	12							
		Mesas de comedor	10	9		Corte	0,156	451,56	0	0	451,6
		Sillas de comedor	60	11		Lijado	0,125	361,3	0,10	289	650,3
		Escritorios	25	22		Ensamble	0,190	37,92	0,13	26,67	64,58
		Archivadores	15	17		Acabado	0,240	47,92	0,20	40	87,92
		Sofás	15	29							
		Gabinetes de cocina	20	6							
Febrero	185	Sofás	50	29	2886	Corte	0,138	396,83	0	0	396,83
		Mesas de centro	48	9		Lijado	0,121	348,73	0,10	288,6	637,33
		Camas	47	12		Ensamble	0,188	34,69	0,1	18,5	53,19
		Despensas	40	11		Acabado	0,238	43,94	0,17	30,83	74,77
Marzo	100	Centros de entretenimiento	10	21	2060	Corte	0,180	370,8	0	0	370,8
		Despensas	15	11		Lijado	0,143	295,3	0,10	206,0	501,27
		Sofás	20	29		Ensamble	0,217	21,67	0,15	15,0	36,67
		Closet	30	11		Acabado	0,270	27	0,18	18,3	45,33
		Cunas	25	31							
Abril	160	Mesa de noche	15	12	2559						
		Cunas	20	31		Corte	0,172	440,7	0	0	440,72
		Sofás	35	29		Lijado	0,125	319,9	0,12	298,55	618,43
		Closet	32	11		Ensamble	0,194	31,1	0,15	24	55,11
		Puertas	38	4		Acabado	0,253	40	0,18	29,33	69,78




Mes	Cantidad total de muebles fabricados	Tipos de muebles fabricados	Cantidad de muebles	Cantidad de piezas por mueble	Cantidad de piezas totales	Operación	Tiempo de ejecución promedio por pieza/mueble (horas)	Tiempo total promedio de ejecución (horas)	Tiempo de espera promedio por pieza/mueble (horas)	Tiempo total promedio de espera (horas)	Tiempo total promedio de proceso (horas)	
		Librerías	20	12								
Mayo	155	Mesas de comedor	7	9	1711	Corte	0,187	319,39	0	0	319,39	
		Sillas de comedor	42	11		Lijado	0,133	228,1	0,1	171,1	399,23	
		Closet	50	11		Ensamble	0,207	32,03	0,13	20,67	52,70	
		Cunas	6	31		Acabado	0,26	39,8	0,20	31	70,78	
		Gabinetes de baño	50	9								
Junio	250	Escritorios	35	22	3271							
		Archivadores	40	17		Corte	0,155	506,2	0	0	506,23	
		Mesas de centro	35	9		Lijado	0,124	405	0,083	272,58	677,56	
		Muebles de juguetes	39	18		Ensamble	0,181	45,2	0,117	29,17	74,40	
		Gabinetes de cocina	50	6		Acabado	0,233	58,3	0,183	45,83	104,17	
		Gabinetes de baño	36	9								
		Puff	15	12								
		Sillas de comedor	66	11								
		Mesas de comedor	11	9								
		Mesas de centro	29	9								
Julio	272	Gabinetes de cocina	17	6	3823	Corte	0,158	605,31	0	0	605,31	
		Gabinetes de baño	36	9		Lijado	0,123	471,50	0,05	191,15	662,65	
		Camas	49	31		Ensamble	0,175	47,6	0,1	27,2	74,8	
		Sillas de jardín	14	20		Acabado	0,233	63,47	0,183	49,87	113,33	
		Puertas	20	4								
		Centros de entretenimiento	8	21								
		Mesa de noche	22	12								
Agosto	195	Gabinetes de cocina	60	6	2137							
		Gabinetes de baño	20	9								
		Escritorios	16	22		Corte	0,143	304,72	0	0	304,72	

Mes	Cantidad total de muebles fabricados	Tipos de muebles fabricados	Cantidad de muebles	Cantidad de piezas por mueble	Cantidad de piezas totales	Operación	Tiempo de ejecución promedio por pieza/mueble (horas)	Tiempo total promedio de ejecución (horas)	Tiempo de espera promedio por pieza/mueble (horas)	Tiempo total promedio de espera (horas)	Tiempo total promedio de proceso (horas)
		Archivadores	21	17		Lijado	0,102	217,66	0,117	249,32	466,97
		Repisas	33	7		Ensamble	0,167	32,5	0,133	26	58,50
		Cajoneras	10	30		Acabado	0,231	45,14	0,167	32,5	77,64
		Camas	17	12							
		Zapateras	15	9							
		Luminarias	3	6							
Septiembre	381	Gabinets de cocina	80	6	2391	Corte	0,158	378,58	0	0	378,575
		Puertas	200	4		Lijado	0,117	278,95	0,1	239,1	518,05
		Closet	60	11		Ensamble	0,183	69,85	0,12	44,45	114,3
		Despensas	41	11		Acabado	0,246	93,66	0,15	57,15	150,8
Octubre	381	Gabinets de cocina	90	6	2411	Corte	0,158	381,74	0	0	381,74
		Puertas	190	4		Lijado	0,117	281,28	0,1	241,1	522,38
		Closet	50	11		Ensamble	0,183	69,85	0,12	44,45	114,3
		Despensas	51	11		Acabado	0,179	68,26	0,15	57,15	125,41
Noviembre	381	Gabinets de cocina	54	6	2311	Corte	0,158	365,91	0	0	365,90
		Puertas	230	4		Lijado	0,117	269,62	0,1	231,1	500,71
		Closet	40	11		Ensamble	0,183	69,85	0,12	44,45	114,3
		Despensas	57	11		Acabado	0,179	68,26	0,15	57,15	125,41
Diciembre	136	Archivadores	45	17	1779	Corte	0,167	296,50	0	0	296,5
		Camas	55	12		Lijado	0,121	214,96	0,13	237,2	452,2
		Muebles de juguetes	15	18		Ensamble	0,200	27,20	0,15	20,4	47,6
		Puertas	21	4		Acabado	0,246	33,43	0,18	24,93	58,4


Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Descripción de herramientas y maquinas utilizadas para el proceso de fabricación de muebles de madera

Tipo de herramienta	Nombre	Fotografía	Cantidad	Uso	Potencia	Material	Consecuencia por su uso	Elementos de protección personal
Corte	Sierra eléctrica circular		1 unidad	Corte de partes de tablonos de madera	1,4 kW	Plástico y metal	Lesiones en ojos por partículas, heridas/corte total en dedos o mano	Guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad, protección auditiva
	Sierra circular con mesa		2 unidades	Corte de partes de tablonos de madera	1,5 kW	Madera, metal	Lesiones en ojos por partículas, heridas/corte total en dedos o mano	Guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad, protección auditiva
	Sierra sinfín		1 unidad	Realizar cortes netos en madera	1,8 kW	Metal, plástico	Lesiones en ojos por partículas, heridas/corte total en dedos o mano	Guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad, protección auditiva
	Sierra caladora		2 unidades	Corte de partes de tablonos de madera	0,8 kW	Metal, material no conductor eléctrico	Atrapamiento, lesiones en ojos por partículas, contacto eléctrico, heridas/corte total en dedos o mano	Guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad

Tipo de herramienta	Nombre	Fotografía	Cantidad	Uso	Potencia	Material	Consecuencia por su uso	Elementos de protección personal
	Canteadora		1 unidad	Darle forma a los bordes y caras del tablón	1,15 kW	Acero, aluminio, hierro	Heridas/corte total en dedos o mano, atrapamiento, lesiones en ojos por partículas	Guantes, gafas de seguridad, protección auditiva
Lijar	Pulidora eléctrica		3 unidades	Lijar las partes del mueble o de los tablonés	0,8 kW	Metal, material no conductor eléctrico	Golpes, contacto eléctrico, heridas/corte total en dedos o mano, atrapamiento, lesiones en ojos por partículas	Guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad, protección auditiva
	Lijadora circular		1 unidad	Pulir tablonés de madera, dejando una capa fina	1 kW	Madera, acero	Heridas/corte total en dedos o mano, atrapamiento, lesiones en ojos por partículas	Guantes, gafas de seguridad, protección auditiva



Tipo de herramienta	Nombre	Fotografía	Cantidad	Uso	Potencia	Material	Consecuencia por su uso	Elementos de protección personal
Ensamble	Cepillo eléctrico		2 unidades	Hacer formas especiales en la madera	0,65 kW	Acero, material no conductor eléctrico	Heridas/corte total en dedos o mano, atrapamiento, lesiones en ojos por partículas	Guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad
	Taladro		3 unidades	Producir agujeros cilíndricos en una pieza cualquiera	0,7 kW	Metal, plástico	Heridas/golpes, vibraciones, contacto eléctrico	Guantes, gafas de seguridad, calzado de seguridad, protección auditiva
Acabados	Compresor de aire eléctrico		4 unidades	Pintado de partes de madera	14,5 kW	Acero soldado, PVC, acero forjado	Explosiones, incendios, contacto eléctrico	Casco, botas de seguridad, protección auditiva
	Fresadora de superficie		2 unidades	Hacer formas especiales en la madera	1,2 kW	Acero, material no conductor eléctrico	Atrapamiento, lesiones en ojos por partículas	Guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Cálculo del consumo de energía eléctrica por operación en cada mes del año 2018 en la empresa Legno's

Mes	Cantidad de muebles fabricados	Operación	Tiempo total de proceso (horas)	Maquinaria/herramientas utilizadas	Potencia (kW)	Cantidad de máquinas/herramientas utilizadas	Potencia total de máquina/herramienta (kW)	Horas utilizadas por máquina/herramienta	Consumo de energía eléctrica (kWh)
Enero	200	Corte	451,6	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	150,2	210,3
				Sierra circular con mesa	1,5	2	3	230,3	690,9
				Sierra sinfín	1,8	1	1,8	71,1	128
		Lijado	650,3	Canteadora	1,15	1	1,15	289,2	332,6
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	361,1	866,6
				Taladro	0,7	3	2,1	64,6	135,6
				Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	87,9	5099,2
		Febrero	185	Corte	396,8	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4
Sierra circular con mesa	1,5					2	3	111	333
Lijado	637,3			Sierra caladora	0,8	2	1,6	125,8	201,3
				Canteadora	1,15	1	1,15	220	253
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	210	504
Acabado	74,8			Cepillo eléctrico	0,65	2	1,3	207,3	269,5
		Taladro	0,7	3	2,1	53,2	111,7		
Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	74,8	4336,7				

Marzo	100	Corte	370,8	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	87,3	122,2
				Sierra circular con mesa	1,5	2	3	125,3	375,9
				Sierra sinfín	1,8	1	1,8	158,2	284,8
		Lijado	501,3	Canteadora	1,15	1	1,15	165,3	190,1
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	336	806,4
		Ensamble	36,7	Taladro	0,7	3	2,1	36,7	77
				Compresor de aire eléctrico	14,5	3	43,5	29,6	1287,6
		Acabado	45,3	Fresadora de superficie	1,2	2	2,4	15,7	37,7
				Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	125,9	176,3
		Abril	160	Corte	440,7	Sierra circular con mesa	1,5	2	3
Sierra sinfín	1,8					1	1,8	164,8	296,6
Canteadora	1,15					1	1,15	250,9	288,5
Lijado	618,4			Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	367,5	882
				Taladro	0,7	3	2,1	55,1	115,7
Ensamble	55,1			Compresor de aire eléctrico	14,5	3	43,5	40,9	1779,2
				Fresadora de superficie	1,2	2	2,4	28,9	69,4

Mayo	155	Corte	319,4	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	68	95,2		
				Sierra circular con mesa	1,5	2	3	195,2	585,6		
				Sierra sinfín	1,8	1	1,8	56,2	101,2		
		Lijado	399,2	Canteadora	1,15	1	1,15	189,2	217,6		
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	210	504		
		Ensamble	52,7	Taladro	0,7	3	2,1	52,7	110,7		
				Compresor de aire eléctrico	14,5	3	43,5	42,4	1844,4		
		Acabado	70,8	Fresadora de superficie	1,2	2	2,4	28,4	68,2		
				Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	145,2	203,3		
		Junio	250	Corte	506,2	Sierra circular con mesa	1,5	2	3	140,3	420,9
Sierra sinfín	1,8					1	1,8	120,5	216,9		
Sierra caladora	0,8					2	1,6	100,2	160,3		
Lijado	677,6			Canteadora	1,15	1	1,15	225,6	259,4		
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	255	612		
Ensamble	74,4			Cepillo eléctrico	0,65	2	1,3	187	243,1		
				Taladro	0,7	3	2,1	74,4	156,2		
Acabado	104,2			Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	104,2	6042		
Julio	272			Corte	605,3	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	186	260,4

			Sierra circular con mesa	1,5	2	3	175,3	525,9
			Sierra sinfín	1,8	1	1,8	150	270
			Sierra caladora	0,8	2	1,6	94	150,4
			Canteadora	1,15	1	1,15	165,7	190,6
			Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	296	710,4
	Lijado	662,7	Lijadora circular	1	1	1	41	41
			Cepillo eléctrico	0,65	2	1,3	160	208
	Ensamble	74,8	Taladro	0,7	3	2,1	74,8	157,1
			Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	60,6	3514,8
	Acabado	113,3	Fresadora de superficie	1,2	5	6	52,7	316
			Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	180	252
	Corte	304,7	Sierra circular con mesa	1,5	2	3	79,7	239,1
			Sierra caladora	0,8	2	1,6	45	72
			Canteadora	1,15	1	1,15	155,6	178,9
Agosto	195		Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	176,4	423,4
	Lijado	467	Cepillo eléctrico	0,65	2	1,3	135	175,5
	Ensamble	58,5	Taladro	0,7	3	2,1	58,5	122,9
	Acabado	77,6	Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	77,6	4503,1

Septiembre	381	Corte	378,6	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	200	280
				Sierra circular con mesa	1,5	2	3	178,6	535,8
		Lijado	518,1	Canteadora	1,15	1	1,15	365	419,8
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	153,1	367,4
		Ensamble	114,3	Taladro	0,7	3	2,1	114,3	240
		Acabado	150,8	Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	150,8	8747
Octubre	381	Corte	381,7	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	185	259
				Sierra circular con mesa	1,5	2	3	196,7	590,1
		Lijado	522,4	Canteadora	1,15	1	1,15	272,4	313,3
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	250	600
		Ensamble	114,3	Taladro	0,7	3	2,1	114,3	240
		Acabado	125,4	Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	125,4	7274
Noviembre	381	Corte	365,9	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	190	266
				Sierra circular con mesa	1,5	2	3	175,9	527,7
		Lijado	500,7	Canteadora	1,15	1	1,15	260	299
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	240,7	577,7
		Ensamble	114,3	Taladro	0,7	3	2,1	114,3	240
		Acabado	125,4	Compresor de aire eléctrico	14,5	4	58	125,4	7274

Diciembre	132	Corte	296,5	Sierra eléctrica circular	1,4	1	1,4	170,5	238,7
				Sierra circular con mesa	1,5	2	3	126	378
		Lijado	452,2	Canteadora	1,15	1	1,15	240	276
				Pulidora eléctrica	0,8	3	2,4	212,2	509,3
		Ensamble	47,6	Taladro	0,7	3	2,1	47,6	100
		Acabado	58,4	Compresor de aire eléctrico	14,5	3	43,5	40,8	1775
				Fresadora de superficie	1,2	2	2,4	17,6	42,2

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Recorrido realizado desde la empresa hacia los clientes durante el año 2018

Mes	Operación	Punto de partida	Destino	Recorrido (km)	Camiones utilizados	Cantidad de viajes por camión	Cantidad de viajes totales	Recorrido total (km)
Enero	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Contraloría departamental de Sucre	2,2	2	2	4	8,8
			El tablazo	2,8	1	2	2	5,6
			Urb. Los Alpes	3,3	2	4	8	26,4
			Urb. Las colinas	3,0	2	4	8	24,0
			Urb. Pontevedra	2,9	2	2	4	11,6
Febrero	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Edificio Mónaco	1,7	2	4	8	13,6
			Edificio Luxor	3,0	2	4	8	24,0
			Conjunto Alejandría	2,5	1	2	2	5,0
			Palma de Mallorca	1,2	2	4	8	9,6
			Urb. Los Alpes	3,3	2	2	4	13,2
Marzo	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Urb. Las colinas	3,0	2	2	4	12,0
			Edificio Galilea	3,5	2	4	8	28
			Edificio Torres	2,2	2	4	8	17,6
			Urb. Buenos Aires	4,3	2	2	4	17,2
			Brisas de las delicias	4,1	2	2	4	16,4
Abril	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Edificio Juherme	2,1	2	4	8	16,8
			La Palma	1,5	2	4	8	12
			La Toscana	2,8	2	4	8	22,4
			Barrio Barlovento	4,0	2	2	4	16,0
			Conjunto Quintas de la palma	1,0	2	4	8	8



			Edificio Ángelus	161	2	2	4	644
Mayo	Expedición	Legno's sede barrio la vega	La Palma	1,5	2	2	4	6
			La Toscana	2,8	2	2	4	11,2
			Urb. Los Alpes	3,3	1	2	2	6,6
			Edificio Antonio Nariño	2,0	2	2	4	8
			Metroinmuebles	2,3	2	4	8	18,4
Junio	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Gimnasio modelo del saber	1,2	2	4	8	9,6
			Urb. Las colinas	3,0	1	2	2	6,0
			Coffee and beats	2,4	2	4	8	19,2
			Edificio Paradise Loft	2,8	2	4	8	22,4
			Asbur restaurante	2,3	1	2	2	4,6
			La Toscana	2,9	2	4	8	23,2
			Conjunto los tejares	2,8	2	4	8	22,4
Julio	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Urb. La Arboleda	3,4	2	4	8	27,2
			Urb. Pontevedra	2,9	2	4	8	23,2
			Edificio Arthur	181	2	4	8	1448
			Boutique mujer virtuosa	161	2	4	8	1288
			Fisiolight center	2,6	1	2	2	5,2
Agosto	Expedición	Legno's sede barrio la vega						
Septiembre	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Urb. Buenos Aires	4,3	2	2	4	17,2

			Brisas de comfasucre	5,1	2	6	12	61,2
Octubre	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Urb. Buenos Aires	4,3	2	2	4	17,2
			Brisas de comfasucre	5,1	2	6	12	61,2
Noviembre	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Urb. Buenos Aires	4,3	2	2	4	17,2
			Brisas de comfasucre	5,1	2	6	12	61,2
Diciembre	Expedición	Legno's sede barrio la vega	Iglesia AMMI	238,0	2	2	4	952
			Planet Kids Guardería	3,5	2	4	8	28
			Urb. Punta del este	2,7	2	4	8	21,6

Fuente: Elaboración propia