



Universitat Politècnica de Catalunya

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Departamento de Projectes d'Enginyeria

**Las empresas forestales comunitarias y la innovación sustentable.
Evaluación mediante el análisis de ciclo de vida en los procesos de
producción del sector de la madera y mueble en Oaxaca, México.**

TESIS

Que para obtener el grado de

DOCTORA

Presenta:

Patricia Regino Maldonado

Director: Dr. Carles Riba Romeva

Codirector: Dr. Juan Regino Maldonado

Barcelona, Noviembre 2015.

Resumen

Los problemas ambientales relacionados con la deforestación, la degradación de los bosques y la pérdida de la biodiversidad han conducido a una imagen negativa de los productos maderables, por otro lado el uso más amplio de productos maderables a partir de recursos bien gestionados puede contribuir de manera significativa al logro del desarrollo sostenible. Esto conduce hacia el pensamiento de ciclo de vida, donde se considera al producto o proceso a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación, empaque, distribución, uso y fin de vida.

Esta investigación se centra en la evaluación de impactos ambientales de la producción de productos forestales maderables mediante la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV) para identificar las posibles alternativas de mejora y reducir dichos impactos y alcanzar la innovación sustentable, tomando como estudio de caso una empresa forestal comunitaria en Oaxaca-México.

Se evalúa la producción de madera aserrada seca, tablero finger joint y mueble escolar mediante el ACV (ISO 14040/14044) siguiendo las etapas a) Definición del objetivo y alcance, b) Análisis del inventario, c) Evaluación del impacto y d) Interpretación; se cuantifican entradas y salidas de materiales, energía y combustibles durante 24 meses (2010-2011). Se considera un análisis *puerta a puerta*, donde la unidad funcional es 1m³ de madera aserrada, 1m³ de tablero finger joint y 1kg de producto terminado de mueble escolar, se usa el software SimaPro v.8, con el método de impacto TRACI con las categorías: agotamiento de capa de ozono, acidificación, eutrofización, calentamiento global y smog para el caso de la madera aserrada y tablero; y el método CML baseline 2000 con las categorías: agotamiento abiótico, toxicidad humana, ecotoxicidad al agua dulce, toxicidad al agua marina, ecotoxicidad terrestre y oxidación fotoquímica para el mueble escolar.

La pregunta de investigación ¿Los procesos de producción de productos maderables en la Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios S.A. de C.V. (UCFAS) son más sustentables que los procesos de producción de productos maderables en empresas forestales privadas? Se responde mediante la hipótesis comprobada de manera parcial, dado que los resultados evidencian que el aserrío y secado en la UCFAS presentan un desempeño ambiental similar a las empresas forestales privadas de E.U., siendo la energía eléctrica la de mayor contribución al impacto ambiental, el tablero finger joint presenta una carga ambiental inferior

en las categorías de calentamiento global, eutrofización y smog comparado en términos de funcionalidad con un tablero de densidad media, con respecto al mueble escolar el 80% tiene como materia prima el tablero finger joint lo que resulta una menor contribución al impacto comparado con otros productos cuyas materias primas incluya tablero de densidad media o tablero contrachapado.

La segunda pregunta planteada ¿Es posible mejorar el desempeño ambiental de los procesos productivos en la UCFAS mediante los resultados obtenidos en el análisis de ciclo de vida?, se responde la pregunta de manera afirmativa mediante la prueba de la segunda hipótesis ya que se identificaron las fuentes donde se origina la mayor contribución al impacto ambiental: energía eléctrica, combustibles fósiles (diesel para el transportador de carga), lubricantes (para máquinas y equipos) y resina de paraformaldehído (en tableros).

El análisis en la UCFAS es de gran utilidad tanto para la empresa como para el sector de la madera y el mueble en México. La metodología es transferible a otras unidades de producción, la expansión y uso de ACV en México, contribuye hacia el mejoramiento de los procesos de producción, además se traduciría en mayores oportunidades y fortalecimiento hacia este tipo de empresas comunitarias ya que al desenvolverse de manera local e integrarse de manera vertical, se comprueba que sus impactos ambientales son menores.

Palabras clave: innovación sustentable, evaluación de impacto, empresa forestal

Abstract

The environmental concerns related to deforestation, forest degradation and losses in biodiversity lead to a negative image of wood products. On the other, a wider utilization of wood products made from well-managed resources can contribute significantly to achieving sustainable development. This has led to an increase in the application of life cycle thinking, which includes consequences of a product or process over its entire life cycle, from raw material extraction to manufacturing, packaging, distribution, use and end of life.

This research focuses on assessment of environmental impacts of production timber products by the methodology of life-cycle assessment (LCA) to identify possible alternatives to improve and reduce these impacts and achieve sustainable innovation, this study is based a case study a community forest enterprise in Oaxaca Mexico.

The production of dry lumber, finger joint board and school furniture is assessed by the LCA (ISO 14040/14044) following steps a) Definition of goal and scope, b) inventory analysis, c) Impact assessment d) Interpretation; inputs and outputs of materials, energy and fuel for 24 months (2010-2011) are quantified. It is considered *gate to gate* analysis, where the functional unit is 1m³ of sawn timber, 1m³ of finger joint board and 1kg of school furniture finished product, the SimaPro software v.8 is used, the impact method TRACI and are considered with the categories: ozone layer depletion acidification, eutrophication, global warming and smog all these for sawn timber and the method impact CML baseline 2000 for finger jointed board: abiotic depletion, human toxicity, ecotoxicity in freshwater, marine water toxicity, terrestrial ecotoxicity and photochemical oxidation for the school furniture finished.

The research question, The production processes of timber products in the UCFAS are more sustainable than the production processes of timber products in private forestry companies? It is answered by the proven hypothesis in part, because the results show that sawing and drying in UCFAS look similar to private forestry companies in USA environmental performance, with the electricity the largest contributor to the environmental impact, the finger joint board has a lower environmental burden in the categories of global warming, eutrophication and smog in terms of functionality compared with MDF board; regarding school furniture 80% as raw material has finger joint board which is a smaller contribution to the impact compared to other products whose raw materials include plywood or MDF board.

The second question, Is it possible to improve the environmental performance of production processes in the UCFAS by the results of the life cycle assessment? the question is answered affirmatively by testing the second hypothesis were identified as electricity, fossil fuels (diesel for the cargo carrier), lubricants (for machinery and equipment) and paraformaldehyde resin (on board): sources where the greatest contribution to environmental impact originates.

The analysis in the UCFAS is useful for both the company and the sector of wood and furniture in Mexico. The methodology is transferable to other production units, expansion and use of LCA in Mexico, contributing to the improvement of production processes also would result in greater opportunities and strengthening towards this type of community companies as to cope locally and integrate vertically, it is found that their environmental impacts are lower.

Keywords: sustainable innovation, impact assessment, forestry enterprise

Agradezco profundamente al Ser más poderoso por la vida y el lugar en el que me ha situado...

Comenzando por mi familia, a mis padres Andrés y Alicia quienes me han dado el ejemplo de responsabilidad, entrega, amor y quienes me han preparado para amar la vida,

A mi único hermano, J. Regino quien ha sido el mayor ejemplo a seguir y que poco a poco he tratado de seguir tus pasos, siendo una gran ejemplo para mí, quien me alienta y me dirige en todos los caminos.

A mis hermanas por estar ahí siempre a mi lado, Alba, Olga, Rebeca, Rosa.

A mi hija Álika quien me inspira cada día al ver su sonrisa y esos ojos luminosos.

A Alejandro, mi apoyo desde que te conocí, gracias por compartir la hermosa experiencia de ser padres, por tu comprensión.

Agradezco la colaboración del Dr. Carles Riba por su tiempo durante el desarrollo de la presente tesis, por compartir un poco de su gran experiencia, por su apoyo, su comprensión, su afecto durante el desarrollo de la presente tesis.

Agradezco también la colaboración del Dr. Juan Regino, por compartir sin reserva su conocimiento, por su tiempo, su apoyo durante la presente tesis, por sembrar en mi la semilla de la investigación, por el conocimiento brindado en el transcurso de todos estos años.

Agradezco también al Dr. Fuente, Dra. Iglesias, Dr. Estrada, Dra. Ibañez quienes ha aportado un poco de su conocimiento hacia la presente tesis.

A los amigos incondicionales, que a pesar del tiempo y la distancia siempre están ahí, por el gran apoyo durante toda esta travesía Aida muchas gracias, por la confianza y el apoyo gracias Marco.

A todas las personas que Dios y la vida han puesto en mi camino de quienes me llevo un poco de aprendizaje para seguir con esta hermosa vida!

ÍNDICE

	Página
Resumen	I
Abstract	III
Introducción	VI
Planteamiento del problema	VIII
Justificación	XII
Objetivo general:	XIV
Objetivos específicos:.....	XIV
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Enfoques de sustentabilidad.....	1
1.1.2. Innovación sustentable	4
1.1.3. Economía ecológica y medio ambiente	8
1.1.4. Economía ecológica y ecología industrial.....	13
1.2. A modo de síntesis	25
CAPITULO II. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y EVIDENCIA EMPÍRICA	27
2.1. Ciclo de vida del producto.....	27
2.2. Pensamiento de ciclo de vida	29
2.3. Análisis de ciclo de vida	30
2.4. Estudios previos de análisis de ciclo de vida en productos forestales maderables	40
2.5. A modo de síntesis	55
CAPITULO III. CONTEXTO DE LAS EMPRESAS FORESTALES COMUNITARIAS MEXICANAS	56
3.1. El aprovechamiento forestal en México	56

3.2.	Estados con mayor producción forestal	58
3.3.	Indicadores económicos del sector forestal mexicano	61
3.4.	El sector de madera y el mueble en México	64
3.5.	Antecedentes sobre al aprovechamiento forestal comunitario en México	72
3.6.	Origen del manejo comunitario	75
3.7.	Las empresas forestales comunitarias mexicanas.....	77
3.8.	A modo de síntesis	85
CAPITULO IV. METODOLOGÍA.....		87
4.1.	Diseño de estudio caso.....	87
4.1.1.	Tipo de análisis.....	90
4.1.2.	Técnicas e instrumento para recopilación de información	91
4.1.3.	Validez y fiabilidad.....	92
4.2.	Preguntas de investigación.....	94
4.3.	Hipótesis	95
4.4.	Unidad de análisis.....	95
4.4.1.	El caso de la Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios de Ixtlán de Juárez (UCFAS).....	96
4.4.2.	Estructura organizacional de la UCFAS	103
4.5.	Metodología del análisis de ciclo de vida de los procesos productivos en la UCFAS.....	106
4.6.	Enfoque basado en procesos unitarios.....	107
4.7.	Limites del sistema general	108
4.7.1.	Método práctico del ACV en el proceso de producción de madera aserrada seca.....	114
4.7.2.	Método práctico del ACV en el proceso de producción del tablero alistonado finger joint.....	136
4.7.3.	Método práctico del ACV en el proceso de producción del mueble escolar	144
4.8.	A modo de síntesis	154
CAPITULO V. RESULTADOS		155
5.1.	Evaluación e Interpretación del impacto del ciclo de vida; proceso de producción de madera aserrada seca.....	155
5.1.1.	Inventarios del proceso de producción de madera aserrada seca	156
5.1.2.	Caracterización de la evaluación del proceso de producción de madera aserrada seca.....	161
5.1.3.	Impactos ambientales potenciales del aserrío y secado de 1 m ³ de madera	163

5.1.4. Emisiones al aire	165
5.2. Evaluación e Interpretación del impacto de ciclo de vida del proceso de producción del tablero finger joint	167
5.2.1. Inventarios del proceso de producción del tablero finger joint	168
5.2.2. Caracterización de la evaluación del proceso de producción de 1 m ³ de tablero finger joint	170
5.2.3. Impactos ambientales potenciales de la producción de 1 m ³ de tablero finger joint	171
5.2.4. Emisiones al aire	173
5.3. Evaluación e Interpretación del impacto de ciclo de vida del proceso de producción del mueble escolar	175
5.3.1. Inventarios del proceso de producción del muebles escolar	176
5.3.2. Caracterización de la evaluación del proceso de producción de 1 kg de material de mueble escolar	179
5.3.3. Emisiones al aire	183
5.4. A modo de síntesis	184
CAPITULO VI. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.....	187
6.1. DISCUSIONES.....	187
6.2. CONCLUSIONES.....	198
REFERENCIAS	201
ANEXO1	212
ANEXO 2.....	213
ANEXO 3.....	217
ANEXO 4.....	232
ANEXO 5.....	258
ANEXO 6.....	259

Relación de Figuras

Figura 1. Visiones del desarrollo sustentable	4
Figura 2. Enfoques de ecología industrial y herramientas	21
Figura 3. Ciclo de vida de un producto	29
Figura 4. Alcance del análisis de ciclo de vida.....	34
Figura 5. Marco del análisis del ciclo de vida.....	35
Figura 6. Esquema del marco ambiental, efectos intermedios y efectos finales.	38
Figura 7. Principales estados con mayor producción forestal	59
Figura 8. Producción forestal maderable por producto,	59
Figura 9. Autorizaciones de aprovechamiento forestal maderable.....	60
Figura 10. Producción forestal maderable reportada/autorizada 1999-2013.....	61
Figura 11. Categoría de PFM y PFNM del sector forestal en México.....	64
Figura 12. Producción forestal maderable 2004-2013	66
Figura 13. Déficit de la balanza comercial forestal 2001-2013.....	68
Figura 14. Estructura operativa de la industria del mueble en México	70
Figura 15. Estados donde la mayor parte de la propiedad de bosques	78
Figura 16. Procedimiento metodológico de diseño de estudio de caso de la investigación.....	89
Figura 17. Ubicación geográfica de la UCFAS en Ixtlán de Juárez- Oaxaca-México.	97
Figura 18 (superior), Figura 19 (inferior). Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios (UCFAS)	99
Figura 20. Integración vertical de las tres EFC	100
Figura 21. Distribución de utilidades de la UCFAS	101
Figura 22. Estructura organizacional de la UCFAS a partir del 2010	105
Figura 23. Enfoque basado en procesos unitarios de la UCFAS	108
Figura 24. Metodología seguida para el análisis de ciclo de vida por procesos unitarios.....	110
Figura 25. Productos considerados en el ACV, 1m ³ de madera aserrada seca, 1m ³ de tablero finger joint, 1 kg de material terminado para mueble escolar (silla, mesa, archivero, locker, escritorio)	111
Figura 26. Límites del sistema y procesos unitarios en la UCFAS.....	112
Figura 27. Proceso de producción de la madera aserrada	117
Figura 28. Proceso de producción de madera aserrada en la UCFAS.....	118
Figura 29. Proceso de secado de madera en la UCFAS	120
Figura 30. Proceso de secado de madera en estufas en la UCFAS	121
Figura 31. Proceso de producción del tablero finger joint	138
Figura 32. Proceso producción del tablero finger joint en la UCFAS.....	139
Figura 33. Proceso de producción del mueble escolar en la UCFAS.....	147

Figura 34. Lay out de la fábrica de muebles en la UCFAS	148
Figura 35. Elementos para ensamble (sup), Figura 36. Producción de muebles en la UCFAS (inf).....	149
Figura 37. Diagrama sankey de flujos de entradas en el proceso de producción de 1m ³ de madera aserrada seca.....	160
Figura 38. Caracterización del proceso de producción de 1m ³ de madera aserrada	162
Figura 39. Caracterización del proceso de producción de 1m ³ de madera seca.....	162
Figura 40. Diagrama sankey de flujos de entradas en el proceso de producción de 1m ³ de tablero finger joint.....	169
Figura 41. Caracterización del proceso de producción de 1m ³ tablero finger joint.....	171
Figura 42. Diagrama sankey de flujos de entradas en el proceso de producción de una silla escolar (15 kg)	177
Figura 43. Diagrama sankey de flujos de entradas en el proceso de producción de un locker escolar (30 kg)	178
Figura 44. Caracterización del proceso de producción de muebles escolares, considerando 1kg de material terminado. Método CML baseline2000.....	179

Relación de Tablas

Tabla 1. Capital total	2
Tabla 2. Niveles de análisis de un sistema de indicadores de innovación sustentable	8
Tabla 3. Planteamientos y debates sobre la economía ecológica.....	12
Tabla 4. Similitudes y diferencias entre la economía ecológica y la ecología industrial.	18
Tabla 5. Herramientas de ecología industrial de acuerdo al enfoque prescriptivo.....	23
Tabla 6. Herramientas de ecología industrial de acuerdo al enfoque descriptivo.....	24
Tabla 7. Resultados de ACV de madera aserrada obtenidos según.....	43
Tabla 8. Trabajos relevantes publicados relacionados al sector de la madera y mueble	52
Tabla 9. Producto interno bruto de los sectores manufacturero, agropecuario y forestal	62
Tabla 10. Balanza comercial de productos forestales de México 1999-2013.....	63
Tabla 11. Exportaciones e importaciones de productos forestales 2013	68
Tabla 12. Propiedad y control en las organizaciones de producción.....	82
Tabla 13. Clasificación de la EFC mexicanas y comunidades forestales.....	83
Tabla 14. Caracterización de la investigación.....	90
Tabla 15. Pruebas para evaluar la calidad y objetividad de un estudio de caso	93

Tabla 16. Características de la UCFAS y otras EFC privada en el estado de Oaxaca.....	102
Tabla 17. Relación de entradas y salidas para el proceso de producción de 1m ³ de madera aserrada seca	122
Tabla 18. Tipo de transporte para materia prima	123
Tabla 19. Densidad promedio de las especies de madera utilizadas, para el cálculo de masa de madera en rollo con gravedad específica verde	125
Tabla 20. Densidad promedio de las especies de madera utilizadas, para el cálculo de masa de madera en rollo con gravedad específica seca.....	126
Tabla 21. Balance de masas, pesos en base seca 8% CH para la producción de madera aserrada seca	129
Tabla 22. Características de la caldera para el secado de 1m ³ de madera verde.....	130
Tabla 23. Distribución de electricidad por proceso para producir 1m ³ de madera aserrada ...	131
Tabla 24. Poder calorífico de combustibles	132
Tabla 25. Energía acumulada de electricidad y combustibles para la producción de 1m ³ de madera aserrada seca.....	133
Tabla 26. Fuentes de energía primaria de la industria eléctrica en México en el año 2011	133
Tabla 27. Mezcla de combustible en caldera para producir energía para secar 1m ³ de madera aserrada verde	135
Tabla 28. Relación de entradas y salidas para el proceso de tablero finger joint	140
Tabla 29. Tipo de transporte utilizado para la madera seca	141
Tabla 30. Balance de masas (pesos en base seca, 8%CH) para la producción de 1 m ³ de tablero finger joint.....	142
Tabla 31. Distribución de electricidad por proceso para producir 1m ³ (514 kg) de tablero finger joint	143
Tabla 32. Energía acumulada de electricidad y combustibles para la producción de 1m ³ de tablero finger joint.....	143
Tabla 33. Características de los productos a analizar	150
Tabla 34. Relación de entradas y salidas para el proceso de muebles escolares.....	151
Tabla 35. Balance de masas para la producción de productos escolares.....	152
Tabla 36. Energía eléctrica necesaria para producir un mueble escolar.....	153
Tabla 37. Inventario de entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de 1 m ³ de madera aserrada verde, los datos recolectados representan el promedio de la producción del año 2010-2011.....	156
Tabla 38. Entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de 1kg de mezcla de aserrín	157

Tabla 39. Entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para el secado de 1 m ³ de madera aserrada verde, los datos recolectados representan el peso promedio de la producción del año 2010-2011	158
Tabla 40. Entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para	159
Tabla 41. Impactos ambientales potenciales del proceso de aserrío y secado de madera en la UCFAS	163
Tabla 42. Emisiones de los procesos de aserrío y secado de 1m ³ de madera.....	166
Tabla 43. Inventario de entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de 1 m ³ de tablero finger joint, los datos recolectados representan el peso promedio de la producción del año 2010-2011.....	168
Tabla 44. Impactos ambientales potenciales del proceso de producción de 1m ³ de tablero finger joint	172
Tabla 45. Emisiones del proceso de producción de 1m ³ de tablero finger joint.....	174
Tabla 46. Inventario de entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de muebles escolares	176
Tabla 47. Porcentaje de contribución de impacto ambiental por categoría de 1 kg de material terminado. Método CML baseline2000	180
Tabla 48. Impactos ambientales potenciales del proceso de producción de 1kg de mueble escolar. Método CML baseline2000	180
Tabla 49. Emisiones del proceso de producción de 1kg de material de muebles escolares ...	183
Tabla 51. Contribución de impacto potencial de la producción de 1m ³ de MDF.....	192
Tabla 52. Contribución de impacto potencial de la producción de 1m ³ de MDF y 1m ³ de FJ..	192
Tabla 53. Resultados de la evaluación de productos en base a kg CO ₂ eq de González-García	195
Tabla 54. Contribución de impacto de los muebles producidos en la UCFAS.....	196

Las empresas forestales comunitarias y la innovación sustentable. Evaluación mediante el análisis de ciclo de vida en los procesos de producción del sector de la madera y mueble en Oaxaca, México.

Introducción

Los recursos forestales no solo proporcionan invaluable servicios ambientales como el almacenamiento de dióxido de carbono, captación y filtración de agua hacia los acuíferos y la mitigación de los efectos del cambio climático; sino también proveen sustento de manera directa a doce millones de mexicanos relacionados a actividades productivas que viven en tierras forestales (Barry et al., 2010).

México posee una superficie territorial de 1,964,375 km²; en el que el 70% corresponde a vegetación forestal equivalente a 138 millones de hectáreas (Presidencia de la República, 2014). Donde las comunidades indígenas de nuestro país tienen una fuerte trayectoria de manejo de sus recursos naturales de manera comunitaria. Este antecedente ha propiciado un tipo de tenencia comunitaria de los bosques que ha sido incluso establecida por el estado. Tal situación no se da en la mayor parte del mundo, donde los bosques son propiedad privada o gubernamental; sin embargo, en México el 80% de los bosques son comunitarios; lo que lo convierte en el segundo país con mayor cantidad de bosques comunitarios (Bray & Merino, 2004).

En México el término *bosque comunitario* se refiere a la posesión de derechos de uso sobre una extensión territorial y sus recursos naturales (agua, aire, tierra, bosques) que tiene una comunidad o grupo de personas bajo acuerdos establecidos por el mismo grupo y que pueden realizar porque en colectivo son dueños de un territorio (Bray & Merino, 2004; Bray et al., 2003).

El estado de Oaxaca ocupa el cuarto lugar a nivel nacional de la superficie forestal (SEMARNAT, 2014) es uno de los estados que tiene gran riqueza cultural y recursos naturales, es considerado como entidad del país con mayor diversidad biológica y reconocido como líder en el manejo de bosques comunitarios, ya que el 90% de los boques y selvas se encuentran en

manos de comunidades y ejidos. El aprovechamiento forestal comunitario genera obras de beneficio social, equipamiento, capacitación, proyectos productivos y reparto directo. Así como proporciona empleo a 42 mil personas del medio rural principalmente en comunidades indígenas.

El manejo sustentable de los bosques de manera comunitaria en Oaxaca tiene un gran potencial para generar empleos y recursos; logrando bosques sanos, permanentemente productivos. La realización de este potencial depende de la capacidad para el manejo adecuado de los recursos.

El manejo adecuado de los recursos garantiza el bienestar de los bosques y su permanencia, sin embargo la buena gestión de los recursos no llega hasta este punto, si no que avanza, ya que el siguiente aspecto de la cadena de valor será la transformación de la madera y el producto final que sin duda generará impactos al medio ambiente, es por lo tanto que se debe mantener conocimiento y control de estos impactos para intervenir y conservar la gestión sustentable de los recursos. Mediante la metodología de análisis de ciclo de vida es posible cuantificar los impactos potenciales desde la extracción de materias primas hasta la disposición final de los productos y con esto garantizar la buena gestión de los recursos del aprovechamiento forestal.

La metodología de análisis de vida es una herramienta que nos permite identificar los impactos ambientales potenciales derivados del uso de materias primas, de energía y las emisiones al entorno, los resultados obtenidos nos permiten establecer los puntos a optimizar dentro de una estrategia de mejora ambiental. La presente investigación se centra en la evaluación de impactos ambientales de la producción de productos forestales maderables, mediante la metodología del análisis de ciclo de vida para identificar las posibles alternativas de mejora y reducir dichos impactos, la investigación se enfoca en una empresa forestal comunitaria ubicada en Oaxaca, México denominada Unidad Comunitaria Forestal Agropecuaria y de Servicios ya que es un caso sobresaliente entre las empresas comunitarias, ejemplo de una alternativa de sustentabilidad en el manejo y transformación de los recursos naturales (Bray, Antinori, & Torres-Rojo, 2006).

El presente documento se encuentra dividido en VI capítulos, en el capítulo I se aborda la literatura revisada durante la investigación, el objetivo del capítulo es encontrar el origen del análisis de ciclo de vida, su fundamento teórico y las bases en las que la metodología ha sido establecida, esto es necesario para la comprensión de la filosofía hacia el cuidado de los recursos naturales, hacia la búsqueda de nuevas formas de hacer las cosas desde una perspectiva de pensamiento de ciclo de vida. En el capítulo II se presentan las etapas establecidas para seguir la metodología de análisis de ciclo de vida bajo las guías de la ISO14040/14044, además se da a la

búsqueda de trabajos que han sido realizados en los últimos años bajo diferentes autores con relación a los productos forestales maderables, esto con la finalidad de visualizar posibles alternativas para abordar la presente investigación; en el capítulo III se describe el contexto del aprovechamiento forestal en México, además de los antecedentes del manejo forestal comunitario, su historia y su visión hacia el aprovechamiento de los boques y el cuidado de los recursos naturales. En el capítulo IV se muestra la metodología seguida en el presente trabajo, se considera un estudio de caso por ser una empresa forestal poco común, se exponen las preguntas que han dado origen al desarrollo de la presente investigación, así como las hipótesis planteadas para las posibles respuestas, se describe la unidad de análisis considerada, además de la implementación de la metodología de análisis de ciclo de vida en cada proceso unitario; en el capítulo V se presenta la evaluación del impacto de ciclo de vida y la interpretación de los resultados obtenidos en los procesos unitarios analizados en el capítulo anterior, finalmente el capítulo VI se incluyen las discusiones y conclusiones obtenidas de la presente investigación.

Planteamiento del problema

Durante las últimas décadas hemos experimentado avances en el desarrollo tecnológico e industrial sin precedentes. Es así que la calidad de vida en algunos países ha mejorado paulatinamente y otras veces de manera excesiva, esto debido al gran abasto de productos y servicios para facilitar nuestra vida diaria, sin embargo todos los productos y servicios tienen un impacto ambiental, antes y durante su producción, uso y su destino final. La fabricación no respetuosa de los productos y servicios con el medio ambiente es evidente.

El aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha dependido del tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de energía, los patrones de consumo, el uso de la tierra, la tecnología; haciendo que la acumulación de gases en la última década entre los años 2000 y 2010 haya sido de 10 Gt de CO₂ eq. Este aumento ha sido directamente del 47% del sector de la energía, 30% de la industria, 11% del transporte y 3% del sector de la construcción (IPCC, 2014).

El ritmo acelerado del consumo de productos y servicios debido al aumento de la población sigue ascendiendo, actualmente necesitamos un planeta y medio para abastecer las necesidades de consumo de la humanidad y si consideramos que para el año 2050 la población mundial será

de unos 9000 millones de habitantes, habrá que anticipar el cambio de patrones de consumo y de producción, así como la adopción de medidas y acciones de prevención ambiental y de fomento al desarrollo sustentable (Rieradevall, 2012).

Así mismo en los últimos años se ha notado el rápido agotamiento de los recursos energéticos no renovables donde no se encuentran alternativas viables en las coordenadas de desarrollo actuales. Lo que ha contribuido al cambio climático con consecuencias imprevisibles y desconocidas sin camino de retorno en una escala de tiempo humana ocasionando una huella ecológica que ya no es sustentable (Riba, 2011).

El consumo y la producción de productos verdes son estrategias que propician el desarrollo sustentable y están asociados a estilos de vida más respetuosos con el medio ambiente y a una nueva economía verde más sensible a los aspectos ambientales y sociales. Además de algunos requerimientos clave para favorecer una producción y un consumo sustentable, donde la forma de operar y producir del sector productivo y las empresas determinarán las posibilidades de innovar, mejorar su productividad y sus capacidades de competir, mediante la transformación de modelos de producción, con responsabilidad social y ambiental. Es allí donde entra la acepción de innovación sustentable (Rieradevall, 2012; Rovira & Hiriart, 2014).

La innovación sustentable se entiende como las diferentes acciones que buscan nuevas formas de evitar o reducir el daño ambiental del desarrollo productivo, de manera que la economía se desarrolle hoy sin comprometer el desarrollo de las generaciones futuras (Horbach, 2005; Rovira & Hiriart, 2014).

La innovación sustentable en el sector productivo no se limita a la conservación del medio ambiente, sino a todos aquellos aspectos que afectan los medios de producción, tales como la mejora de las condiciones de los trabajadores, las mejoras de los sistemas de diseño, la relación con los clientes, la institucionalidad del aparato productivo, entre otros; y para que ésta se lleve a cabo de manera exitosa y masiva es necesaria la participación y el compromiso de todos los sectores, de la sociedad civil y la concientización de los ciudadanos (Rovira & Hiriart, 2014).

Cabe mencionar que existen empresas u organizaciones que han venido operando bajo un esquema similar a la innovación sustentable, ya que han logrado desarrollar estrategias efectivas permitiéndoles permanecer en el mercado, abriendo oportunidades de mejora en la competitividad en el sector de la madera y mueble.

Estas empresas se encuentran dentro del medio rural que es catalogado por algunos autores como con poca capacidad de organización e innovación para ser un medio autosuficiente o competitivo, donde las tradiciones están relacionadas con la resistencia al cambio y en consecuencia a la aceptación de nuevas ideas (Berumen & Fehrmann, 2008; de Grammont, 2004; Giarraca, 2001; B. Hernández, 2011), sin embargo, existen múltiples casos de éxito en Latinoamérica, y en este caso en México, como son las comunidades de la Sierra Norte del estado de Oaxaca, ya que han logrado consolidar una estructura organizacional basada en sus formas tradicionales de asignación de cargos, promoviendo el desarrollo de las comunidades y la conservación de los recursos naturales (Antinori & Bray, 2005).

La creación de Empresas Forestales Comunitarias (EFC) ha cobrado particular importancia porque representan una alternativa que mejora la calidad de vida de las personas del medio rural, contribuyendo a la generación de empleos, así como una importante fuente de inversión social y además porque se logra un manejo sustentable de recursos naturales donde el régimen de propiedad es comunal (Bray & Merino, 2004; Ostrom, 2011).

Entre algunas de las comunidades que han tenido mayor desarrollo en los últimos años, se encuentran: Santiago Textitlán, Ixtlán de Juárez y Pueblos Mancomunados ubicados en la sierra norte de Oaxaca, que han logrado organizar sus procesos de producción a través de la integración vertical perfeccionando el flujo y uso de la madera, manteniendo la calidad de sus productos, implementado tecnología para obtener procesos más eficientes y generando empleos para los habitantes de las comunidades. El desarrollo que han tenido estas comunidades en cuanto a sus procesos de producción las ha impulsado a tener una mayor participación en todos los niveles de la cadena de valor, integrándose las tres comunidades de manera horizontal en la etapa de comercialización a través de una sola Integradora Comunal Forestal de Oaxaca S.A. de C.V. (ICOFOSA), minimizando así los costos individuales de esta etapa.

Sin embargo como lo sugiere Antinori (2007), para mantenerse en el mercado a largo plazo, las EFC deben considerar como punto importante el desempeño económico, ya que se debe desarrollar una serie de habilidades administrativas, técnicas y de comercialización que les permita obtener mayor competitividad y la de toda la cadena de valor a través de la innovación sustentable.

Es así que las EFC deben establecer múltiples alternativas para permanecer en el mercado, una de ellas mantener el control de emisiones ocasionadas a lo largo de la cadena de valor, ya que a largo plazo se generan costos e impacto ambientales que serán difíciles de revertir, la falta de

análisis de ciclo de vida en cualquier industria hace importante y necesaria la intervención del investigador, quien evaluaría los efectos medioambientales y podría proporcionar información necesaria para que los fabricantes actúen controlando, disminuyendo o eliminando residuos, que reduzcan el impacto ambiental y que se garantice mayor competitividad en los mercados avalando con ello procesos y productos amigables ambientalmente.

Los problemas ambientales en países en desarrollo como en México son desvalorados quizás porque los recursos económicos son dirigidos en su mayoría otras necesidades que deben ser cubiertas, sin embargo a través del tiempo los problemas ambientales traen consigo múltiples consecuencias, entre ellos la deforestación en el caso de los bosques, la tala ilegal, el cambio de uso de suelo, la pérdida de ecosistemas, trayendo consigo la detrimento de recursos que suelen ser sustento de miles de personas dedicadas a estas actividades productivas.

La evolución del análisis de ciclo de vida ha sido lenta en México (ANEXO 2), debido a la falta de información, la falta de políticas públicas y el alto costo que implica el desarrollar este tipo de análisis no ha ayudado al aterrizaje de esta metodología a las empresas, industrias y hasta uno mismo como consumidor responsable, ocasionando ausencia de información para establecer bases de datos propias trayendo consigo el lento desarrollo de la metodología, ya que los trabajos que han sido desarrollados en los últimos años en diversos sectores cuentan con ciertas limitaciones y generan incertidumbre en los resultados debido a que las bases de datos consideradas no representan totalmente las condiciones de los sitios de producción o de servicios en México.

La información respecto a los inventarios de ciclo de vida nacionales en México es limitada. Esto aplica para los materiales de construcción, recursos energéticos y residuos. En diversos estudios realizados en México se han identificado aquellos flujos en los que es conveniente profundizar en investigación y en el desarrollo de inventarios. Evidentemente, es recomendable poner atención en los flujos que tienen los mayores impactos e incertidumbre; sin embargo, hay otros flujos de los que se tiene poca información nacional y que se recomienda explorar (Centro Mario Molina, 2014).

Justificación

Alrededor de 2,300 aprovechamientos forestales se encuentran en México de los cuales 215 se sitúan en el estado de Oaxaca, siendo el 4º estado con mayor aprovechamiento forestal a nivel nacional. De los 6.1 millones de hectáreas de bosques y selvas de la entidad, 650 mil están bajo aprovechamiento maderable por parte de 150 comunidades y ejido (Madrid et al., 2009).

El manejo forestal comunitario ha resultado tener la ventaja de conservar los bosques y activar las economías locales, además de generar ingresos para las familias campesinas y lograr una acumulación de capital en comunidades de zonas remotas y por lo general de alta marginación. Ya que en torno a la extracción de productos del bosque se desarrollan diversas empresas y talleres, que van desde las pequeñas carpinterías hasta los grandes aserraderos, que favorecen la capitalización de las economías campesinas (Mendoza & Fernández, 2015).

Algunas de las comunidades forestales más avanzadas han logrado acceder a mercados internacionales más competitivos, y reinvierten las utilidades del aprovechamiento forestal para integrar procesos productivos verticales que den mayor valor agregado a sus productos forestales, y a diversificar el uso de sus recursos en proyectos de inversión que incluyen el embotellamiento de agua de manantial, el ecoturismo comunitario y la producción y comercialización de productos forestales no maderables (hongos, resinas, hojas, flores, etc.). Estas experiencias revelan el potencial de la gestión comunitaria de los bosques, no sólo para conservación de los recursos, sino también en su aportación a la gobernabilidad de regiones caracterizadas por su marginalidad y aislamiento. Si bien la tenencia comunal ha sido un factor estructural importante que ha brindado oportunidades para detonar procesos de autogestión y desarrollo rural que contribuyen a la sustentabilidad y conservación de los bosques, es claro que esta condición no resulta en sí misma suficiente (Merino & Segura, 2002).

A pesar de los múltiples beneficios que trae consigo el manejo forestal comunitario, en los últimos años se ha notado la desaparición de 95 unidades productivas como aserraderos, fábricas y aglutinadoras de madera, teniendo impacto en las economías familiares, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el 2004 en México había 98,000 personas empleadas en aprovechamientos forestales y silvicultura mientras que la industria forestal empleaba a 496,515 personas (Alfaro & Hidalgo, 2005). Extrapolando la cantidad de unidades productivas que desaparecieron en el período referido, para 2009 se perdieron más de 107 mil empleos (Mendoza & Fernández, 2015). Podríamos enumerar

múltiples factores que hayan sido consecuencia de tales desapariciones no obstante solo queda un amplio panorama por buscar, analizar y explicar la complejidad del caso.

En recientes años han surgido diversas investigaciones para explicar la realidad de las EFC, estudios sobre el impacto de la reforma agraria y las leyes forestales, sobre la participación del estado en la formación de las instituciones de bienes comunes, sobre la gestión de los bienes comunes, sobre capital social en bienes comunes (Regino et al., 2015) sin embargo existen pocos que se enfoquen al aspecto ambiental, directamente a aspectos relacionados con el control de las emisiones al medio ambiente, una alternativa es el análisis de ciclo de vida que permite identificar aspectos vulnerables en las etapas de los procesos y ayuda a encontrar posibles alternativas para mejorar el desempeño de la empresas, garantizando su perfil ambiental.

La presente investigación es de gran utilidad para las empresas, las industrias y los consumidores, ya que esta metodología es transferible a diversas unidades de producción o de servicios, el uso y expansión de la metodología contribuye al fortalecimiento de las empresas hacia una perspectiva de trabajo eficiente controlando las emisiones al medio ambiente, además de que mediante el desarrollo de análisis de ciclo de vida, se generan datos logrando con ello la concepción de información que sirva como inventarios de base de datos nacionales, que serán útiles para evaluar, controlar y disminuir los impactos ambientales potenciales de las actividades productivas en el país.

Se parte con el caso de la Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios (UCFAS) de Ixtlán de Juárez- Oaxaca que inició sus funciones en julio de 1988, clasificada como de tipo IV ya que ha logrado rasgos de innovación sobresalientes y cuenta con capacidad de transformación, realiza directamente la comercialización de sus productos y vende madera con procesamiento industrial (Bray et al., 2007).

Objetivo general:

Realizar la evaluación de las cargas ambientales que representan los procesos de producción de productos forestales maderables en la empresa forestal comunitaria UCFAS, mediante la metodología propia del análisis de ciclo de vida para identificar las posibles alternativas de mejora para reducir dichos impactos ambientales y alcanzar la innovación sustentable.

Objetivos específicos:

Para la obtención del objetivo general es necesario definir objetivos específicos que se desarrollarán a lo largo de la investigación:

Identificar y cuantificar las entradas y salidas de los procesos unitarios de la madera aserrada seca, el tablero finger joint y el mueble escolar, desde una perspectiva de ciclo de vida para detectar los puntos débiles del proceso de producción.

Comparar y evaluar los impactos medioambientales de los procesos unitarios de la madera aserrada, el tablero finger joint y el mueble escolar para analizar alternativas de mejora ambiental y reducir dichos impactos.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se exponen los antecedentes que dan origen a la metodología del análisis de ciclo de vida que fundamenta la presente investigación, iniciando con una breve introducción sobre los diferentes enfoques de la sustentabilidad, así como la relación de economía ecológica y el medio ambiente y sus diferentes perspectivas hasta llegar a la ecología industrial que según los autores la relación entre economía ecológica y ecología industrial se basa en el mismo pensamiento, de reconstruir la relación de la industria con el medio ambiente y la sociedad. Además nos adentramos en el concepto de innovación sustentable que está siendo reconocida como una contribución vital para el futuro sustentable.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Enfoques de sustentabilidad

Haciendo un breve rastreo histórico del concepto sustentabilidad, se entiende que si bien no se empleaba el término como tal en algunos años atrás, la idea que éste implicaba era considerar un objetivo deseable de alcanzar a lo largo de la historia, no obstante el concepto de sustentabilidad ha evolucionado.

Sin embargo hasta la presentación del Informe Brundtland realizado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, por sus siglas en inglés *World Commission on Environment and Development* (WCED, 1987) que fue punto de partida para la noción de desarrollo sustentable, que se posicionó de manera más firme en la agenda política internacional.

Mediante la perspectiva de Esquivel (2006), el desarrollo sustentable parte de la unión entre medio ambiente y desarrollo, tomando el concepto de sustentabilidad del área de la silvicultura, donde el concepto se relaciona básicamente con la capacidad de un sistema para mantener su productividad frente a las perturbaciones. Así mismo desde el punto de vista de la esfera conservacionista la sustentabilidad se asume con criterios fundamentalmente ecológicos con relación a los sistemas naturales. Haciendo que el concepto rebase la faceta estrictamente ecológica e incorpore la dimensión ambiental en su plena acepción para incluir progresivamente criterios económicos, sociales y culturales.

Common & Stagl (2008), señalan que sustentabilidad es mantener la capacidad del sistema económico y el medio ambiente, para satisfacer las necesidades y deseos de los seres humanos a largo plazo.

Pero en un sentido amplio el concepto de sustentabilidad fue tomado según el Informe Brundland, considerando como el tipo de desarrollo que satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987).

Empero a la idea de sustentabilidad conforme al tratamiento de las cuestiones ambientales, se ha generado una discusión respecto a las diferentes definiciones e interpretaciones del desarrollo sustentable, básicamente se interpreta en dos enfoques sustentabilidad débil y sustentabilidad fuerte (Bebbington & Gray, 2001; Cabeza, 1996; Krysiak, 2005; Laine, 2005).

Para entender el paradigma de la sustentabilidad débil (formulada desde la racionalidad propia de la economía estándar) y sustentabilidad fuerte (formulada desde la economía ecológica) hay que partir del concepto de capital, entendido como los medios que proporcionan nuestro bienestar, los recursos de que depende la actividad socio-económica y distinguir dentro del capital total a tres categorías como lo menciona (Tabla 1) (Riechmann, 2006).

Tabla 1. Capital total

Capital total		
Capital natural <i>Aspectos del mundo natural que son empleados por la actividad socioeconómica humana</i>	Capital hecho por el hombre <i>Comprende tanto artefactos, máquinas e invenciones, como el capital humano (habilidades, conocimientos, capacidades y valores del ser humano para modificar su medio.</i>	Capital cultivado <i>Animales domesticados y plantas cultivadas, así como sus derivados.</i>

Fuente: Elaboración propia en base a Riechmann (2006).

Ahora bien la sustentabilidad débil solo requiere que el capital total permanezca constante a lo largo del tiempo, sin que importe la reducción de un recurso mientras exista otro que aumente para compensarlo, es decir, que garantice solo un nivel no descendente del capital total asumiendo que las tres formas de capital son completamente sustituibles entre sí (Riechmann, 2006).

Es así que la sustentabilidad débil según (Esquivel, 2006) no tiene en cuenta los límites biofísicos del planeta en que vivimos, sino que para evaluarla solo se consideran los mecanismos de mercado, que no siempre son sensibles a la escasez de recursos naturales, y que no incluyen bienes no mercantiles en su valoración. Su aproximación es tecnológicamente optimista y confía en la resiliencia de la biósfera. Sus defensores piensan que los desequilibrios en la actualidad podrán corregirse siempre en el futuro, gracias a la tecnología.

Así también cabe mencionar que el enfoque de sustentabilidad débil, surge a la par del enfoque ortodoxo ambos estudiados desde la economía ambiental (desde la corriente antropocéntrica) (Gujardo, 2001) (Figura 1).

La corriente antropocéntrica partiendo del significado según Torres (2011), de *antropocentrismo* que significa *centrado en el hombre*; bajo esta óptica el ser humano es un fin y la naturaleza con sus especies – animal y vegetal – es un medio; el hombre tiene deberes indirectos con la naturaleza en la medida que proporcione bienestar humano.

Es así que los antropocéntricos sostienen que lo que hace el ser humano por la naturaleza (y por su propio bien) es suficiente, que no hay otro tipo de obligaciones para con ella. Para ellos, la naturaleza no es de interés debido a su falta de valor intrínseco y la asignación de un valor puramente instrumental (Martinelli, 2008).

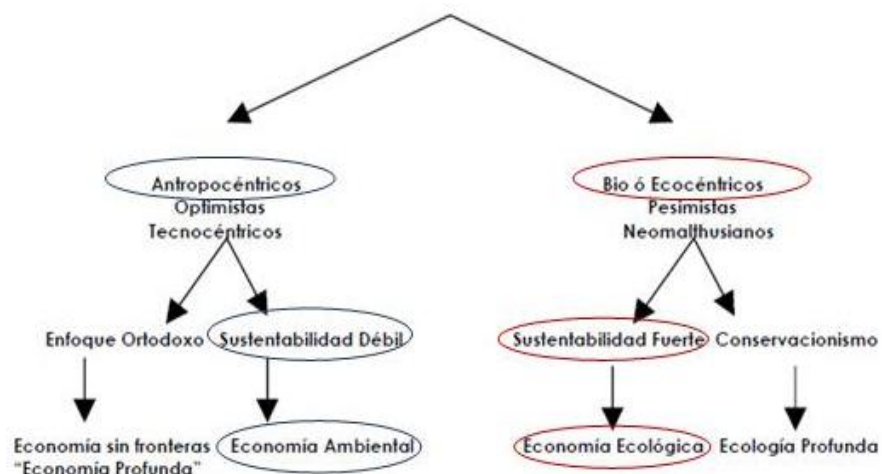
Ahora bien si hablamos desde la perspectiva de la sustentabilidad fuerte, ésta trata de asegurar que el capital natural no descienda concentrándose en la escala del impacto humano sobre el ecosistema global y basándose en los límites termodinámicos que se imponen a la macroeconomía (Esquivel, 2006).

El criterio de la sustentabilidad fuerte, según (Vilches et al., 2015) toma en consideración la existencia de un capital natural crítico que no puede ser sustituido por el hecho por el hombre. Este capital natural puede definirse entonces como capital natural que es responsable de funciones medioambientales esenciales. Ciertamente, en ocasiones resulta difícil determinar hasta qué punto la capacidad de dar lugar a los flujos de bienes y/o servicios de determinado capital natural puede ser sustituido por capital hecho por el hombre. Pero eso mismo obliga a aplicar el principio de precaución y a conservar y proteger dicho capital natural como crítico mientras no haya plenas garantías de su posible sustitución por capital hecho por el hombre.

El surgimiento de estas visiones tanto como de sustentabilidad fuerte y el conservacionismo, nace de la corriente ecocéntrica o biocéntrica, dónde el ser humano es un integrante dentro de

los sucesivos sistemas biológicos, planetarios y universales, consiguado a respetar los mecanismos de estos sistemas de los que forma parte, no sólo por condiciones éticas, sino también por su propia seguridad, ya que estos sistemas a los que pertenece –si los deteriora-, repercutirán, tarde o temprano, en su bienestar (Purser et al., 1995; Shrivastava, 1994) siendo estos enfoques analizados desde la economía ecológica (Guajardo, 2001) .

Figura 1. Visiones del desarrollo sustentable



Fuente: Tomado de Guajardo (2001)

En resumen el concepto de sustentabilidad, asociado a la economía ecológica, representa la cantidad de productos que se puede consumir, sin degradar los stocks de capital natural, los suelos, la atmósfera, la biomasa de plantas y animales, el agua, etc., estos elementos, combinados, conforman los ecosistemas.

1.1.2. Innovación sustentable

El concepto de innovación ha sido definido por múltiples autores y se han generado diversas definiciones, pero podríamos resumir en una sola palabra lo que es innovación, *es el cambio*. Innovación significa hacer las cosas de una manera diferente, cambiar las reglas del juego para mejorar la situación actual. Las salidas son nuevos productos, procesos y / o servicios que tienen rendimientos empresariales para dar a las empresas una ventaja competitiva (Flores et al., 2008).

Soto & Medellín (2010) elaboran un análisis de Drucker, donde argumenta que la innovación es una cuestión económica, no técnica. No es un destello de genio, es una disciplina sistemática, organizada, rigurosa. La innovación no es sólo producto de los cambios científico-tecnológicos, ni se restringe sólo a las innovaciones tecnológicas, ni a los resultados de la investigación y desarrollo. Según recalcó en varios de sus textos, las innovaciones más importantes han sido a lo largo de la historia innovaciones sociales y organizacionales, más que tecnológicas.

Drucker hizo referencia a un conjunto de preceptos válidos para que la innovación fuese efectiva, les llamó *los principios de la innovación* (Soto & Medellín, 2010):

- La innovación significativa, sistemática, comienza con el análisis de las fuentes de nuevas oportunidades. Dependiendo del contexto, las fuentes tendrán una importancia distinta en momentos diferentes.
- Debido a que la innovación es tanto conceptual como perceptible, los innovadores deben también salir y observar, preguntar, y escuchar. Los innovadores exitosos usan los dos hemisferios cerebrales. Van con los usuarios potenciales para estudiar sus expectativas, sus valores, y sus necesidades.
- Para ser efectiva, una innovación tiene que ser simple, y tiene que estar enfocada. Debe hacer sólo una cosa.
- Las innovaciones efectivas comienzan de manera pequeña.
- Nadie puede vaticinar si una determinada innovación terminará siendo un gran negocio o solo un logro modesto. Pero aún si los resultados son modestos, la innovación exitosa aspira desde el principio a ser la que establece las normas, la que determina la dirección de una nueva tecnología o una nueva industria, para crear la empresa que está –y permanece- más allá del conjunto (a la vanguardia). Si una innovación desde el comienzo no se plantea como objetivo el liderazgo, es improbable que sea suficientemente innovadora.
- La innovación es producto del esfuerzo más que de la genialidad, requiere conocimiento. A menudo requiere inventiva. Y requiere enfoque pero sin perder de vista que los innovadores rara vez trabajan en más de un área.

En la innovación, como en cualquier otro esfuerzo, hay talento, hay ingenio, y hay conocimiento. Pero cuando todo está dicho y hecho, lo que la innovación requiere es un esfuerzo duro, enfocado y con un propósito definido. Si el esmero, la persistencia y el compromiso están ausentes, el talento, el ingenio y el conocimiento no tienen ningún efecto.

Por otra parte Horbach (2005) menciona que las innovaciones se pueden clasificar en innovaciones de productos y procesos, innovaciones organizativas e institucionales. Una innovación de procesos se refiere básicamente a la relación (cuantitativa) entre los factores de entrada y de salida de productos y una innovación de producto comprende típicamente un cambio en las propiedades (cualitativa) de la salida, las innovaciones organizativas se pueden asociar a ambos cambios cualitativos y cuantitativos (Rennings, 2000). En los tres casos, el término innovación se refiere a los aumentos de eficiencia, es decir, a los cambios en la producción de bienes y servicios que en definitiva permiten una mejor satisfacción de ciertas necesidades y deseos de los consumidores con el mismo conjunto de factores de entrada o, su equivalente, para la satisfacción de las mismas necesidades y deseos con menos de entradas (Sartorius, 2006).

Hofstra (2008), menciona que los factores clave de innovaciones exitosas se basan principalmente en las mejoras tecnológicas, por diferenciarse en el mercado, las empresas utilizan mecanismos innovadores que conducen a la creación de valor económico. Sin embargo las empresas tienen que estar más conscientes del futuro, es decir acentuar la importancia del diseño y desarrollo de productos sustentables, programas de comercialización, abastecimiento y cadenas de suministro para mejorar la salud, la justicia social y las perspectivas a largo plazo.

Como se logra observar existen diferentes puntos de vista y se han enunciado diversas definiciones sobre el término de innovación por algunos autores, dejándonos sobre todo un amplio panorama para conceptualizar el concepto y asumir una propia definición, y llevar a cabo bajo libre albedrío una acción que nos lleve al cambio y que nos lleve hacia el éxito, logrando con esto una innovación.

Una economía sustentable se caracteriza por el uso de productos altamente calificados, la reutilización de productos secundarios y la minimización de residuos. La transición hacia una sociedad sustentable es la prevención de la disipación y uso más eficiente de los recursos y la energía. Ya no es posible el desarrollo de nuevas tecnologías sin considerar los conceptos de naturaleza. La nueva tecnología desempeña un papel vital para las empresas. La nueva y mejorada tecnología forma la base de las competencias básicas, los nuevos procesos de producción y productos. Es así que la investigación de nuevas aplicaciones y la difusión de tecnologías ambientales se expanden enormemente (Hofstra, 2008).

El término innovación sustentable ha sido ampliamente utilizado durante la última década, el número de definiciones en la literatura académica es limitado. La revisión por parte de (Carrillo-

Hermosilla et al., 2010) enumera las definiciones de innovación que se centran en la sustentabilidad ecológica, tales como la innovación ecológica y la innovación ambiental (Boons et al., 2013).

Sin embargo la innovación sustentable va más allá de la innovación ecológica, ya que incluye los objetivos sociales y está claramente relacionada con el proceso integral a largo plazo del desarrollo sustentable de acuerdo a los objetivos de corto y largo plazo de la sustentabilidad. La siguiente definición captura la esencia de la innovación sustentable: La innovación sustentable es un proceso en el que las consideraciones de sustentabilidad (ambiental, social y económica) se integran en sistemas de la empresa de generación de ideas a través de la investigación y el desarrollo (I + D) y la comercialización (Charter & Clark, 2007; Charter et al., 2008). Esto se aplica a los productos, servicios y tecnologías, así como a los nuevos modelos de organización empresarial (Boons et al., 2013).

Las innovaciones sustentables no sólo comprenden la dimensión ambiental, sino también los aspectos económicos, sociales e institucionales. Mejoran la realización de los objetivos de un desarrollo sustentable y representan un subconjunto de todas las innovaciones. Debemos tener en cuenta las consecuencias económicas, sociales e institucionales de innovaciones sustentables en la construcción de un sistema de indicadores. La innovación sustentable además de reducir los daños al ambiente, pretende abarcar impactos sociales y económicos (Sartorius, 2006) y ha sido abordada principalmente a partir de estudios de caso, debido a que los ejemplos alrededor del mundo no son generalizables, responden a diversas condiciones, sobre todo a legislación local, presiones del mercado y preferencia de los consumidores, los resultados de dichos estudios permiten identificar tres niveles de análisis descritos (Tabla 2), (Horbach, 2005).

Tabla 2. Niveles de análisis de un sistema de indicadores de innovación sustentable

Nivel de análisis	Ejemplos de indicadores
Determinantes de la innovación sustentable	Demanda del mercado y medidas de política ambiental
Descripción de la innovación	Productos e innovaciones de procesos, cambios organizacionales e institucionales, al final del ciclo integrado de innovaciones medioambientales
Impacto ecológico, económico y social	Reducciones de emisiones, distribución del ingreso y efectos sobre el empleo

Fuente: Tomado de Horbach (2005)

No obstante la innovación sustentable es un campo relativamente nuevo y en desarrollo. Todavía hay limitadamente pocos ejemplos de productos y servicios sustentables logrando mayor penetración en el mercado; ejemplos de aplicación han sido presentados en las conferencias de la innovación sustentable como estudios de casos, pero estos han sido principalmente por unas pocas empresas líderes, son experimentales o de nicho de productos o representan mejoras incrementales a los productos existentes (Charter & Clark, 2007).

Resumiendo entonces, podemos decir que la innovación sustentable está siendo internacionalmente reconocida como una contribución vital para el futuro sustentable. Sin embargo las sociedades, las economías y los mercados van lentamente haciendo cambios necesarios para crear demanda generalizada de productos y servicios sustentables. Es así que se advierte que la mejora de la competitividad y el cuidado del medio ambiente pueden reforzarse mutuamente, a partir del esfuerzo por desarrollar e implementar tecnologías limpias que además de fomentar un desarrollo sustentable, también logren mejoras en la posición competitiva de las empresas, en este contexto la innovación sustentable, establece retos y oportunidades (Charter & Clark, 2007; Rovira & Hiriart, 2014).

1.1.3. Economía ecológica y medio ambiente

Conforme han transcurrido los años ya no se cree que el mundo sea un sistema que pronto será tomado bajo control. Por el contrario, se piensa que el mundo es evolución, un sistema complicado, es así que los científicos tienden a adoptar enfoques provisorios. Lo más notable

de los científicos es que argumentan que además de la experiencia científica se necesita mucho más esfuerzo para comprender cómo trabajar con la naturaleza.

Es así que surgen diferentes visiones entre la relación economía-medio ambiente, una visión desde la perspectiva de la economía ortodoxa y otra desde la economía ecológica. Según (Correa, 2006) la visión de la economía ortodoxa tiende a ignorar el carácter limitado de los recursos naturales y la vulnerabilidad del medio ambiente, es decir los elementos de la naturaleza que son utilizados en volúmenes y números crecientes por los procesos industriales que son transformados en productos y residuos, que a su vez generan más residuos, y parecería que éstos residuos que se vierten en el ambiente se reciclarán de alguna manera pero en algunos casos esto no es practicable debido a costos elevados o la imposibilidad física o tecnológica, es así que de alguna forma éstos residuos permanecerán en el ambiente indefinidamente como materia degradada.

Este fenómeno de la irreversibilidad final de los procesos industriales fue ignorado durante mucho tiempo por políticos y economistas. El resultado palpable de esta indiferencia ha sido una creciente utilización de los recursos naturales y un acelerado deterioro de los sistemas ecológicos del mundo (Correa, 2006).

Desde la primera mitad del siglo XIX y principios del siglo XX surgieron pensadores que pusieron en tela de juicio los principios y bases físicas de la economía ortodoxa, frente a las evidencias acumuladas es así que comenzó a desarrollarse una nueva visión: la economía ecológica (Manrique, 2009).

Continuando con el autor anterior la economía ecológica surgió como una economía abierta y transdisciplinar por contraposición al enfoque convencional cerrado y disciplinar, que ha evolucionado a partir de una larga tradición histórica de economistas, ecólogos y otros científicos sociales y naturales descontentos con el tratamiento que sus respectivas disciplinas otorgaban a las complejas relaciones economía-naturaleza-sociedad. Allí influyeron tanto científicos naturales con inquietudes y preocupaciones económicas como economistas y científicos sociales que comenzaron a pensar en la forma en que afectaban los resultados de otras disciplinas al razonamiento de los análisis económicos convencionales. Se trata de aportaciones de pioneros que sentaron las bases de la economía ecológica como: Podolinsky, Geddes y Soddy quienes fueron autores, dentro del campo de las ciencias sociales y naturales que se plantearon ciertos aspectos de la relación entre sistema económico y flujos de energía en la sociedad humana, una vez formuladas las leyes de la termodinámica. Y por sus tempranos estudios sobre

los flujos de energía y materiales que recorren el funcionamiento de las economías (metabolismo económico), y por su crítica veraz y a contracorriente del crecimiento económico como meta universal (Redondo & Carpintero, 2005).

Algunos años habrían de ocurrir antes que otros autores retomaran los conceptos de estos pioneros, para así hacer surgir diversas tesis que continuaron las bases teóricas de la economía ecológica, economistas como Sigfried Von Ciriacy-Wantrup, Karl William Kapp, el inglés Kenneth Ewart Boulding y el rumano Nicolás Georgescu-Roegen considerado éste, como el autor contemporáneo más importante de la economía ecológica (Redondo & Carpintero, 2005).

A medida del tiempo, esta corriente se fue afianzando seguida por otros autores como Herman Daly, Robert Ayres, Robert Costanza, José Manuel Naredo, Joan Martínez Alier entre otros, durante la década de los setenta y ochenta hasta tomar cuerpo en la Sociedad Internacional de economía ecológica en inglés *International Society for Ecological Economics*, apoyando así la consolidación internacional de la economía ecológica en los noventa, surgiendo así un campo de estudio transdisciplinar que se ha colocado en la zona fronteriza o de intersección entre la ecología, algunas partes de la física como la termodinámica y la economía (Redondo & Carpintero, 2005). En el ANEXO 1, se presentan algunas de las aportaciones tanto de los precursores como continuadores de la economía ecológica desde mediados del siglo XIX hasta la actualidad.

Costanza (1991), define a la economía ecológica como un nuevo campo transdisciplinario de estudio donde se abordan las relaciones entre los ecosistemas y el sistema económico de una manera más amplia. Ya que estas relaciones son fundamentales para muchos de los problemas actuales de la humanidad y sirven para construir un futuro sustentable. Por campo transdisciplinario se refiere a que la economía ecológica va más allá de las concepciones habituales de las ciencias científicas, tratando de integrar y sintetizar distintas perspectivas de otras disciplinas.

Carpintero (2009) plantea que la economía ecológica es un sistema más amplio como la biósfera y por tanto, su dinámica está restringida y debe ser compatible con las leyes que gobiernan el funcionamiento de la propia biósfera (las leyes de la termodinámica y la ecología). A diferencia del enfoque convencional, aquí el ámbito económico y el proceso de producción de bienes y servicios se consideran un sistema abierto en estrecha relación con el resto de sistemas sociales y naturales con los que co-evolucionan.

Sin embargo Barkin (2008) apunta que de acuerdo a una revisión de la creciente literatura del campo de la economía ecológica, es evidente que todavía no existe un claro consenso respecto a un paradigma dominante y las metodologías que son propias de esta nueva área de estudio; ya que el debate y la diversidad de propuestas ofrecidas en las reuniones de la sociedad internacional de economía ecológica son testimonio de que todavía se busca definir los caminos para contribuir a superar los diversos obstáculos para la construcción de una sociedad más justa y mejor posicionada para avanzar hacia la sustentabilidad.

Por su parte Castiblanco (2007) resume de la manera siguiente los planteamientos y debates sobre los cuales está fundamentada la economía ecológica (Tabla 3).

Tabla 3. Planteamientos y debates sobre la economía ecológica

<p>El sistema económico como un subsistema del gran sistema global</p>	<p>Georgescu Roege, la economía ecológica considera al sistema económico como un subsistema del ecosistema global, un sistema abierto que intercambia energía, materia e información con el ecosistema global y por lo tanto está sujeto a las leyes y los límites que la naturaleza le impone.</p> <p>El subsistema económico encuadrado en una estructura institucional y social está sometido a las leyes de la termodinámica donde cualquier proceso es cambio y especialmente los procesos económicos (producción y consumo de bienes y servicios) generan residuos y calor (contaminación) ; por la segunda Ley, sabemos que la energía se degrada ineludiblemente. Esto nos coloca frente al problema de la irreversibilidad y aún más grave de la irrevocabilidad: <i>la destrucción de un ser vivo o inerte ocurre una única vez. Cuando algo se destruye, se destruye energía disponible, información y tiempo</i> (Georgescu Roegen, 1971 citado en Castiblanco, 2007)</p>
<p>Debate entre crecimiento económico y conservación del medio ambiente</p>	<p>La economía ecológica cuestiona el objetivo de crecimiento económico ilimitado que persigue obsesivamente la civilización occidental, y desconoce los límites que nos imponen la naturaleza y nuestra propia condición humana (Elizalde, 2002).</p> <p>Los niveles de crecimiento alcanzados han contribuido a obtener considerables beneficios en el bienestar humano a un costo muy alto en términos de degradación de los ecosistemas. Es así que la degradación de los ecosistemas podría empeorar, ya que la mayoría de los generadores directos de cambio están creciendo en intensidad. Estos generadores de cambio están relacionados con el crecimiento de la población, la actividad económica, en los patrones de comercio, en las inequidades en la distribución), con los factores sociopolíticos, con los factores culturales y los cambios tecnológicos (Hassan, Scholes, & Ash, 2005).</p> <p>Las tecnologías actuales, los hábitos de consumo y los patrones de población urbana hacen difícil desvincular el crecimiento económico del crecimiento de los flujos energéticos y materiales, y estos flujos han significado una mayor explotación de recursos en territorios ambientalmente frágiles y a su vez, mayores flujos físicos de materiales y energía.</p>
<p>Énfasis en los conceptos de escala sustentable y distribución justa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Asignación, se entiende la división relativa del flujo de recursos entre usos alternativos de productos; • Distribución, se entiende la división relativa del flujo de recursos (productos y servicios finales) entre grupos y personas alternativas. La distribución significa no sólo distribución económica, sino distribución ecológica; y los aspectos distributivos son muy importantes para entender las valoraciones y asignaciones de los recursos naturales y los servicios ambientales. • Escala hace referencia al flujo físico de materiales y energía utilizado, una escala óptima es la más sustentable, es decir una escala que no erosiona la capacidad de carga ambiental con el paso del tiempo. La escala no debe estar determinada por los precios, sino por una decisión social que refleje los límites ecológicos. <p>Desde esta perspectiva, los conceptos de distribución y escala implican relaciones con las generaciones presentes (incluyendo los pobres del planeta), las generaciones futuras y con otras especies. Cualquier intercambio entre asignación, distribución y escala implica un juicio ético acerca de nuestras relaciones con los otros, más que el cálculo de la disposición a pagar.</p>
<p>La crítica a la valoración económica</p>	<p>La economía ecológica considera que los recursos naturales y el medio ambiente tienen valor independientemente de que formen parte o no de las preferencias o necesidades de la especie humana y se preocupa en primer lugar por la naturaleza física de los bienes a gestionar y la lógica de los sistemas que los envuelven (Naredo, 1992 citado en Castiblanco, 2007).</p> <p>Los sistemas ecológicos, con su inmensa complejidad, no pueden ser producidos, valorados y reproducidos como una mercancía; no se puede valorar un recurso natural empleando precios o tasas que se derivan de unas relaciones sociales específicas. Los precios suponen una aritmética entre mercancías reproducibles, idénticas entre sí y mensurables, mientras que los ecosistemas y sus componentes no son reproducibles a voluntad, no son intercambiables entre sí, y tampoco totalmente mensurables.</p>
<p>El uso de indicadores de sustentabilidad</p>	<p>La economía ecológica utiliza indicadores físicos, biológicos y energéticos, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apropiación Humana de Producción Primaria Neta (AHPPN) que mide la cantidad de energía y materia que los productores primarios ponen a disposición de las especies vivientes; • Uso de Insumos Materiales Por Unidad de Servicio (MIPS) que incorpora todos los materiales usados directa e indirectamente en cada unidad de servicio productivo; • Rendimiento Energético de los Insumos de Energía (EROI) que significa retorno energético y trata de medir la eficiencia energética de los procesos de producción y consumo, • La huella ecológica indicador de la demanda de recursos de una economía expresada en unidades espaciales. <p>(Martínez Alier, 2006) menciona que el aporte y eje principal de la Economía Ecológica es el desarrollo de indicadores físicos de insustentabilidad, donde se examina la economía en términos de metabolismo social. Este concepto de metabolismo social hace referencia a la posibilidad de medir los insumos energéticos y materiales que utiliza la economía y también los desechos producidos.</p>

Fuente: Castiblanco (2007); Elizalde (2002) y Hassan et al (2005).

En síntesis y en base a la información anterior se puede decir que la economía ecológica intenta construir y está en la búsqueda de un nuevo paradigma científico; mediante la formulación de estrategias y gestión de un desarrollo sustentable más apropiado para los seres humanos, e intenta determinar y alcanzar un modo operativo de gestión en el corto y mediano plazo, compatible y consecuente con la meta de la sustentabilidad incluyendo aspectos económicos, sociales y ambientales, así como de principios éticos, dentro de los cuales no consideran el *crecimiento económico* como prioritario.

La economía ecológica no considera la posibilidad de valorar los recursos naturales y exalta la existencia de una deuda ecológica ocasionada por la actividad industrial para con el ambiente y la sociedad. Sugiere utilizar los recursos naturales de manera que no se exceda su tasa de renovación y que los residuos generados no sobrepasen la capacidad de absorción del ecosistema. Propone el empleo *del principio de precaución* en la actividad industrial, orillando a la industria a buscar alternativas de producción que sean amigables con el medio ambiente de manera que contribuyan a generar estructuras que garanticen la justicia social (García, 2008; Martínez Alier, 2006; Riechmann, 2006).

Por su parte Redondo & Carpintero, (2005) mencionan que aunque todavía queda mucho por hacer, ha sido precisamente en este nicho científico creado por la economía ecológica donde han proliferado ideas e intercambios entre practicantes de diferentes disciplinas, fortaleciendo desde principio de los años noventa propuestas de estudio más concretos, que recaen sobre el análisis de sistemas particulares como el industrial, el urbano o el agrario, dando lugar a aproximaciones especialmente fértiles como la ecología industrial, la ecología urbana o la agroecología.

1.1.4. Economía ecológica y ecología industrial

No hay duda de que el concepto de ecología industrial existió mucho antes de la expresión, la cual comenzó a aparecer esporádicamente en la literatura de la década de 1970. Como era habitual, en ciertas ocasiones, la misma expresión no se refería al mismo concepto: pues se describía el entorno económico regional de las empresas o era usado como un slogan verde de algunos grupos de presión industriales en reacción a la creación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos en inglés *Environmental Protection Agency* (USEPA) (Erkman, 1997).

Más tarde se realizaron varios intentos para poner en marcha este nuevo campo donde se realizaron publicaciones en el último par de décadas, con un éxito muy limitado. Charles Hal, un ecólogo de la Universidad Estatal de Nueva York, comenzó a enseñar el concepto de ecosistemas industriales y publicar artículos sobre el mismo a inicios de 1980, sin obtener ninguna respuesta. Casi en el mismo período, en París, otro académico, Jacques Vigneron, de forma independiente lanzó la noción de ecología industrial, sin que en ése momento se despertara un interés real (Erkman, 1997).

La idea de ecología industrial comienza según en Nairobi con los debates en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en la que se referían a problemas de residuos, el valor de los materiales, y el control de la contaminación. Donde también se hablaba de la naturaleza y de la naturaleza de los sistemas biológicos y ecológicos. Es así que el pensamiento surgió como una fermentación de manera natural acerca del mundo humano, las industrias, sus productos y los problemas de residuos y sobre el acoplamiento del mundo humano con el resto del mundo natural (Frosch, 1992).

En agosto de 1988, la Academia Nacional de Ingeniería organizó un taller sobre tecnología y el medio ambiente. En este taller se discutieron temas de residuos de la producción industrial, y su acoplamiento con el medio natural, y lo que podría hacerse al respecto. Fue ahí donde se discutió la ponencia sobre metabolismo industrial, presentada por Robert U. Ayres que se trataba de las vías de algunos materiales y sus transformaciones a través de la industria y la sociedad y aspectos de la desmaterialización, el síndrome de final del proceso, y la necesidad de considerar la eliminación final de los residuos como parte del diseño del proceso, con este antecedente se escribió en la revista *Scientific American*, el artículo *Las estrategias industriales viables* quienes autores creadores de tal artículo fueron Nicholas Gallopoulos y Robert Frosch donde se encontraron cayendo de forma natural en el uso del término *ecosistema industrial* pensando en la industria como una analogía fuerte al comportamiento del mundo natural con respecto al uso de materiales y energía; introduciendo la idea de crear sistemas productivos que funcionasen como los sistemas naturales (Frosch, 1992).

A partir de la publicación de Frosch y Gallopoulos, surge entonces una analogía del sistema industrial con respecto al ecosistema industrial donde se refiere a aprender de la naturaleza es decir, nos exhorta a que el sistema industrial imite los principios del ecosistema natural, donde los residuos de una especie pueden ser un recurso para otra especie (Frosch, 1992).

Ahora bien el desarrollo de la ecología industrial en la década de los noventa inspiró a muchos autores a escribir artículos para difundir sus ideas en diversos círculos académicos y empresariales. Entre ellos, estaba Tibbs, quien tradujo las ideas del artículo en el lenguaje y la retórica de los negocios, los cuales difundieron las ideas de Frosch y Gallopoulos a nivel global. Así también las ideas sobre el *metabolismo industrial* de Robert Ayres. El metabolismo industrial hace referencia a los procesos físicos que transforman las materias primas y la energía, además del trabajo, en productos y residuos que se encuentran en una condición de estabilidad (Carrillo, 2009). El trabajo de Ayres en el seguimiento de los flujos de materiales y la promoción de una mayor recuperación, reacondicionamiento, reutilización, reciclaje se cita a menudo como punto clave de la aplicación real de la ecología industrial.

De este modo la ecología industrial fue difundida rápidamente a gran escala, prueba de ello el surgimiento del primer manual universitario de ecología industrial (1995) que marcó una amplia aceptación, seguido del lanzamiento de la revista *Journal of Industrial Ecology* en 1997 que puede considerarse como el reconocimiento oficial de la comunidad académica de este nuevo campo, y en 2001 la creación de la *International Society for Industrial Ecology* que reúne investigadores, empresas, estudiantes con el fin de establecer y extender la ecología industrial como concepto, disciplina y campo de estudio; y en los últimos años la publicación del *Journal Progress in Industrial Ecology* (2004), que ha dado a la ecología industrial una posición fuerte y dinámica en la comunidad científica internacional

De acuerdo con Graedel (1994), existen tres tipos de flujos de materiales desde el punto de vista ecológico. El tipo I es un modelo de flujo lineal (en un sentido) en el que los materiales y la producción de energía, uso y disposición ocurren sin el reciclaje o la reutilización de materiales. En el Tipo II hay algo de reciclaje interno de los materiales, pero aún existe la necesidad de recursos energéticos y materiales de entrada, y los residuos siguen siendo enviados al exterior. El Tipo II es más eficiente que el Tipo I, pero todavía no garantiza la sustentabilidad a largo plazo. Y el modelo de tipo III que se podría denominar un ecosistema sin desperdicio, permite el reciclaje interno de energía solar y garantiza el mantenimiento del ecosistema.

Actualmente los ecosistemas industriales son una mezcla de los tipos I y II. El objetivo límite de cero emisiones, se encuentra más cerca del tipo III, y se está lejos de ser alcanzado debido a la etapa tecnológica actual, sin embargo, este objetivo persigue el aumento de los niveles de reciclaje y la reutilización de materiales en un contexto global (Macedo da Costa, 2002) .

Côté (2007) considera que la ecología industrial es el diseño de infraestructuras industriales como si fueran una serie de ecosistemas interconectados por el hombre con el ecosistema natural global. La ecología industrial toma el patrón del medio natural como un modelo para resolver los problemas ambientales, la creación de un nuevo paradigma para el sistema industrial como un proceso.

Bermejo (2001) interpreta a la ecología industrial en un sentido amplio, como una disciplina que integra los siguientes elementos:

- Una estrategia inspirada en el funcionamiento de los ecosistemas.
- Una visión global e integrada de todos los componentes físicos del sistema económico y de sus relaciones con la biósfera como elemento previo.
- Un ámbito de estudio que abarca el substrato biofísico del sistema económico, es decir, la totalidad de los flujos y de los stocks de materiales y energía ligados a las actividades humanas.
- La idea de que la evolución de los grupos tecnológicos clave constituyen un factor muy importante (pero no exclusivo) para favorecer la transición del sistema industrial actual a un sistema sustentable.
- La idea de que es imprescindible desarrollar una cultura de la suficiencia (mayor calidad de vida con menos servicios), además de la eficiencia (más servicios con menos recursos) que aporta la evolución tecnológica (Erkman, 1998; Spnagenberg, 1999; citado en Bermejo, 2001)

La ecología industrial según (Côté, 2007; Ehrenfeld, 2004) es un nuevo modelo para el desarrollo de la actividad industrial asentado sobre las tres dimensiones de la sustentabilidad (ecología, economía y equidad) que engloba varios principios basados en el desarrollo sustentable y con los que se lleva a cabo una gestión ambiental de los sistemas industriales diseñados análogamente a los ecosistemas naturales (Aguayo et al., 2011).

Así mismo Carrillo & Hernández (2011), señalan a la ecología industrial como un área de conocimiento que busca la eficiencia de los procesos que repercute en el ámbito no sólo económico y ambiental sino también en el social, a partir de la interacción entre distintas empresas del mismo o de diferentes ramas industriales, donde se está posicionando en el mundo como una alternativa real y viable para que las empresas por iniciativa propia y con las condiciones e incentivos públicos necesarios participen y contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Es importante señalar que Carrillo & Hernández (2011), sustentan que la ecología industrial es una propuesta cuya base teórica se desprende de una disciplina ecléctica que conecta los principios y elementos de la economía con los de la biología. Considerando así que la ecología industrial es forjada a la luz de las propuestas de la economía ecológica, como un tipo específico de relación que se establece entre la actividad humana (industrial) y la dinámica del sistema natural.

Por su parte García (2008), manifiesta que si bien la ecología industrial y la economía ecológica surgen de las mismas bases teóricas donde se logra visualizar similitudes o puntos convergentes, de la misma manera existen puntos divergentes, que hacen que sus caminos en algún momento busquen diferentes objetivos. Es decir, la economía ecológica y la ecología industrial emergen a partir de dos enfoques; y comienzan por la inclusión de las esferas social, ambiental y económica, pero difieren en la importancia que tiene cada enfoque con respecto a ellas. Mientras que para la economía ecológica las esferas social y ambiental son las más importantes, para la ecología industrial la esfera económica es la parte fundamental. Las diferencias entre ambos enfoques comienzan con el hecho de que la economía ecológica realiza *ciencia para el bienestar* mientras que la ecología industrial realiza *ciencia para el capital* (Tabla 4).

Tabla 4. Similitudes y diferencias entre la economía ecológica y la ecología industrial.

ECONOMÍA ECOLÓGICA	ECOLOGÍA INDUSTRIAL
<i>Similitudes</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Inclusión de las esferas social-ambiental-económica <ul style="list-style-type: none"> • Empresas relacionadas con su entorno • Reestructurar la relación industria-ambiente <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir los impactos ambientales 	
<i>Diferencias</i>	
<i>Visión social-ambiental</i>	<i>Visión capitalista</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Principios éticos con la sociedad y el ambiente. • Rescate de las tradiciones como medio para innovar los procesos productivos. • Algunas innovaciones tecnológicas resultan ser más dañinas al ambiente. • Imposibilidad de valorar los recursos naturales. • Recursos naturales finitos. • Los daños al ambiente son irreversibles. • Generación de una “deuda ecológica”. • Evitar o generar residuos sólo en la cantidad que el ecosistema pueda absorber. • Principio de precaución. • Sustentabilidad radical propuesta por Paul Burkett. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la rentabilidad basada en la protección al ambiente. • Las innovaciones tecnológicas aminoran los impactos ambientales. • Valoración de recursos naturales. • Recursos naturales infinitos. • No se considera la irreversibilidad. • No se considera la deuda ecológica generada por las industrias. • Reutilizar los residuos como materia prima en otra industria. • Creación de parques ecoindustriales. • Ecoeficiencia. • Producción más limpia frente a final del tubo. • Sostenibilidad (introducción de las vertientes social-ambiental-económica).
<i>Ciencia para el bienestar</i>	<i>Ciencia para el capital</i>

Fuente: Tomado de García,(2008)

Ahora bien como se logra observar hay una serie de componentes básicos en los conceptos de la ecología industrial que todos los autores mencionan, donde existe una amplia gama de interpretaciones tanto de los objetivos y estrategias. En un extremo se encuentran las personas que expresan que la ecología industrial es un enfoque gradual para abordar los problemas ambientales, centrándose en gran medida en las mejoras de eficiencia. Y por el extremo opuesto están los que consideran a la ecología industrial como base para una gran transformación de la sociedad industrial, y una meta a alcanzar (García, 2008).

No obstante, como lo indica (Garner & Keoleian, 2005) la mayoría de las definiciones sobre ecología industrial comprenden atributos similares con diferentes énfasis. Estos atributos suelen ser los siguientes:

- Una visión de sistemas de las interacciones entre sistemas industriales y ecológicos
- El estudio de los flujos de materiales, energía y transformaciones

- Un enfoque multidisciplinario
- Una orientación hacia el futuro
- Un cambio desde el proceso lineal (abierto) a los procesos cíclicos (cerrado), por lo que el desecho de una industria se utiliza como una entrada para otra.
- Un esfuerzo por reducir los impactos ambientales de los sistemas industriales sobre los sistemas ecológicos.
- Énfasis en la integración armoniosa de la actividad industrial en los sistemas ecológicos.
- La idea de hacer que los sistemas industriales emulen a los sistemas naturales más eficientes y sustentables.
- La identificación y comparación de las jerarquías de los sistemas naturales e industriales, lo que indica las áreas de estudio potencial y la acción.

Y como lo enuncia (Tibbs, 1993) existen principios de la ecología industrial que reflejan un programa general de acción, donde (Macedo da Costa, 2002) los clasifica en tres categorías:

- Optimización de los flujos de energía y materiales en la producción
 - Identificación de metabolismo industrial
 - Prevención de contaminación
 - Reducción de uso de sustancias tóxicas
 - Control de contaminación y gestión de residuos (reciclaje externo y disposición adecuada)
 - Uso eficiente de energía y materiales
 - Uso de energías renovables
- Ciclo de cierre de los materiales
 - Reutilización, re-fabricación
 - Reciclaje y / o de los materiales componentes
 - Reciclado de envases
 - Los subproductos y desechos como insumos para otras actividades
 - Instalaciones integradas en sistemas de manufactura
- Desmaterialización
 - Oferta de servicios
 - Mayor vida útil de productos
 - Reducir el uso de energía y materiales

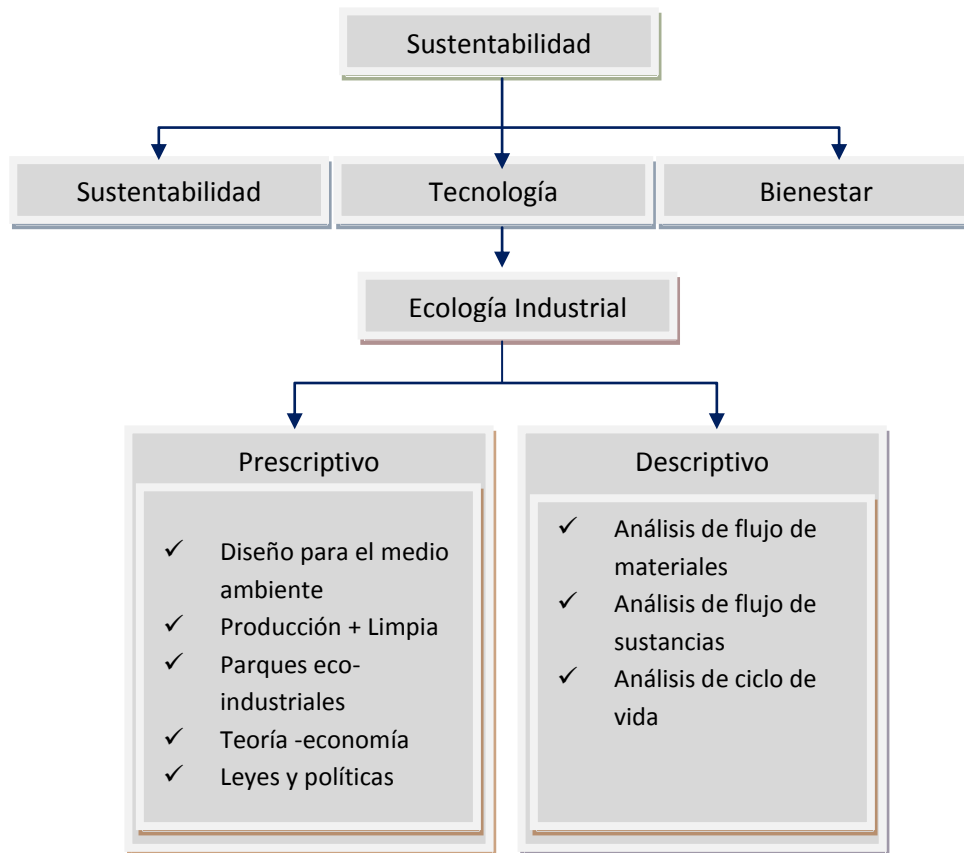
En general, los principios, tanto desde un punto de vista tecnológico como desde una perspectiva de los recursos naturales y el medio ambiente, surgen como una necesidad de un cambio de dirección en la forma en que las actividades económicas se han venido llevando a cabo (Macedo da Costa, 2002).

En síntesis podríamos decir que la relación entre ecología industrial y economía ecológica tienen surgimiento de ambas disciplinas provenientes de la misma teoría, que tienen diferencias en algunos enfoques, pero trabajan bajo el mismo pensamiento, el de reconstruir la relación de la industria con el medio ambiente y la sociedad, minimizando o evitando los daños al medio ambiente, además la economía ecológica y la ecología industrial consideran que las empresas deben estar relacionadas con su entorno y deben alcanzar la reducción de los impactos ambientales, mediante la adopción de estrategias de producción económicamente rentables y ambientalmente sustentables.

Cabe precisar que el campo de la ecología industrial científica es relativamente reciente, y como se ha mencionado anteriormente no cuenta con un concepto único aún, ya que no existe un consenso por parte de los diferentes seguidores de esta disciplina; consecuentemente es preciso que el concepto se pueda aplicar de maneras distintas. (Sagar & Frosch, 1997) señalan que la ecología industrial se utiliza libremente en la literatura, que varían desde la perspectiva estrecha como el reciclaje de los residuos a la perspectiva amplia de cambio social y del medio ambiente a nivel global.

Debido a la amplitud de aplicaciones distintas de la ecología industrial, no es sorprendente que existan enfoques donde se utilicen diversas herramientas para alcanzar los objetivos, la ecología industrial revela dos grupos de enfoques; prescriptivos y descriptivos (Figura 2), (Reuter & K, 2005).

Figura 2. Enfoques de ecología industrial y herramientas



Fuente: Tomado de M. A. Reuter et al. (2005)

Los enfoques *prescriptivos*, se centran en el rol potencial de la industria, en la reducción de las cargas ambientales en todo el ciclo de vida del producto. Es así que estos enfoques pueden considerarse como respuestas a un conjunto jerarquizado de los retos desde el desarrollo de productos individuales hasta las políticas globales y la legislación. Los enfoques prescriptivos ayudan con el diseño y la gestión a través de estos niveles de visión de sustentabilidad de forma deliberada y racionalmente. Algunas herramientas de estos enfoques a través de los diferentes niveles de diseño incluyen: Diseño para el medio ambiente en inglés *Design for Environment-DFE*, Producción más limpia o Prevención de la contaminación a nivel proceso en inglés *Cleaner Production-CP*, (Reuter et al., 2005).

Ahora bien los enfoques *descriptivos* implican el análisis de los flujos de materiales y energía en las actividades industriales y de consumo, y el efecto de estos flujos en el medio ambiente. Aquí uno puede distinguir entre los estudios que se realizan en términos físicos (estudios de recursos)

o en términos monetarios (estudios sociales y económicos). Además, los enfoques *descriptivos* pueden ayudar a los enfoques *prescriptivos*, proporcionando una conexión de los flujos de masa y energía a los costes sociales y ambientales. Basados en diferentes objetivos, conceptos, tiempo, escalas espaciales y cuestiones de destino. En las Tablas 5 y 6 se presentan las diferentes herramientas que se utilizan para enfoques prescriptivos como análisis de flujo de materiales, análisis de flujo de sustancias y análisis de ciclo de vida, así como las herramientas de los enfoques descriptivos (M. A. Reuter et al., 2005, p. 56).

Tabla 5. Herramientas de ecología industrial de acuerdo al enfoque prescriptivo

Enfoque Prescriptivo	
Diseño para el medio ambiente (DFE)* o Ecodiseño.	<p>El concepto se introdujo por primera vez en la industria electrónica en 1990. El DFE fue pensado originalmente para ser un subconjunto del proceso de realización de un producto en la industria electrónica, conocido como diseño para X o DFX, donde la X representa una característica del producto deseado, tal como la capacidad de prueba, seguridad, la fabricación o fiabilidad. El DFE tiene una orientación hacia el producto, centrándose en la reducción del uso de sustancias peligrosas, la minimización del consumo de energía, o de facilitación de la gestión al final de vida a través del reciclaje y la reutilización. Implícitamente, el DFE se basa en la perspectiva de ciclo de vida mediante la adopción de un enfoque de la cuna a la tumba.</p>
Producción más limpia o prevención de la contaminación.	<p>El término fue acuñado en 1989, la producción más limpia se considera como el enfoque conceptual y de procedimiento para la producción que exige que todas las fases del ciclo de vida de un producto o un proceso deben abordarse con el objetivo de prevención o minimización de riesgos a corto y largo plazo para los seres humanos y para el medio ambiente (Baas et al. 1990).</p> <p>La terminología se modificó posteriormente a la «producción limpia» en reconocimiento de que ningún proceso o cadena de producción puede esperar no tener enteramente ningún impacto ambiental o posibles efectos adversos para la salud. La producción más limpia se supone que indica un programa progresivo de mejoras en el desempeño ambiental de los procesos industriales y sistemas de productos.</p>
Parques eco-industriales	<p>Un parque eco-industrial es una comunidad de plantas industriales que se basa en un modelo integrado de un ecosistema. En el modelo tradicional de la actividad industrial, los procesos de fabricación toman materias primas y generan productos que deben ser vendidos más los residuos que deben eliminarse. En el modelo de ecosistema, el consumo de energía y materiales es optimizado, la generación de residuos se reduce al mínimo y los residuos de un proceso sirven como entrada para otros (ejemplo citado con frecuencia Kalundborg Park-Dinamarca).</p>
Desarrollo de la teoría económica	<p>La teoría económica es fundamental para la aplicación de la ecología industrial. Muchos estudios en la literatura de ecología industrial comparten la premisa de que los flujos de materiales y energía pueden ser deliberados y racionalmente influenciados por (i) el establecimiento de los precios correctos, (ii) proporcionar el derecho de información (mostrando las consecuencias ambientales de sus acciones) y (iii) el establecimiento de incentivos y condiciones límite para actividades en regulación. De esta manera, la mano invisible del mercado puede coordinar las decisiones a diferentes escalas (empresa individual, regional, nacional o global) y así proporcionar el contexto para la coordinación de las distintas herramientas. Esta creencia en la capacidad de auto-organización de (competencia) de los mercados puede estar vinculada a la auto-organización de los ecosistemas naturales a través de procesos descentralizados y la supervivencia de los más adaptados.</p> <p>Para lograr una sociedad mundial sustentable, existe la necesidad de ampliar e integrar el estudio y la gestión del hogar de la naturaleza (ecología) y el hogar de la humanidad (economía).</p>
Leyes y políticas	<p>El desarrollo de la política y la legislación es una condición esencial para la implementación exitosa de la ecología industrial a escala del sistema inferior (productos, procesos, parques eco-industriales). Las entidades privadas actuando solas, pueden hacer algunos progresos, pero no pueden ampliar las barreras en base a sistemas para avanzar hacia la sustentabilidad. Por lo tanto, los límites deben ser diseñados para fomentar un comportamiento adecuado por parte de los productores y los consumidores, así como las condiciones que se establezcan en la legislación y las políticas del estado.</p>

Fuente: Elaboración propia con base a Ayres & Ayres (2001) y M. A. Reuter et al. (2005)

Tabla 6. Herramientas de ecología industrial de acuerdo al enfoque descriptivo

Enfoque Descriptivo	
Análisis de flujo de materiales (MFA)*	<p>El MFA se refiere al análisis del rendimiento de la cadena de procesos que comprenden la extracción o recolección, transformación química, fabricación, consumo, reciclado y la eliminación de materiales. Se basa en las cuentas en unidades físicas (por lo general en términos de toneladas) cuantificación de las entradas y salidas de dichos procesos. El MFA ha sido utilizado a menudo como sinónimo de contabilidad del flujo de materiales, en un sentido estricto la contabilidad representa sólo uno de los varios pasos del análisis, y tiene una clara vinculación con la contabilidad económica.</p> <p>Todos los estudios del MFA están basados en el paradigma común del metabolismo industrial y utilizan el principio metodológico de balance de masas. Existen dos tipos básicos análisis de flujo de materiales: Tipo I se realizan a menudo desde una perspectiva técnica, y el tipo II, dirigidos a las relaciones socioeconómicas.</p>
Análisis de flujo de sustancias (SFA)*	<p>El SFA tiene como objetivo proporcionar información relevante para una estrategia de gestión global de lo que se refiere a una sustancia específica o de un grupo limitado de sustancias. El SFA puede ser colocado en el campo de la ciencia de la ecología industrial, como una forma de poner en práctica el concepto de metabolismo industrial (Ayres 1989a). En este concepto, una analogía se dibuja entre la economía y el medio ambiente a nivel material: el metabolismo de la economía, en términos de movilización de materiales, utilización y excreción de la creación de tecnomasas, se compara con el uso de materiales en la biósfera para crear la biomasa. La economía es vista sólo en términos de sus flujos de materiales. El análisis de dichos flujos en general se denomina MFA (contabilidad o análisis de flujo de materiales). Udo de Haes et al. (1997) define al SFA como una marca específica de la MFA, tratando sólo con el análisis de los flujos de químicos.</p>
Análisis de ciclo de vida (ACV)	<p>El ACV es una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados a un producto mediante la compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes del sistema, la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con las entradas y salidas, y la interpretación de los resultados del inventario y fases de impacto en relación con los objetivos del estudio.</p>

**Siglas en inglés: Design for Environment- DFE, Material Flow Analysis- MFA, Substance Flow Analysis- SFA*

Fuente: Elaboración propia con base a Ayres & Ayres (2001) y M. A. Reuter et al. (2005)

1.2. A modo de síntesis

En el capítulo I, se presentan los diferentes enfoques de la sustentabilidad que es considerada según el Informe Brundland, como el tipo de desarrollo que satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987). Además se ha generado una discusión respecto a las diferentes definiciones del desarrollo sustentable, básicamente se interpreta en dos enfoques sustentabilidad débil y sustentabilidad fuerte (Bebbington & Gray, 2001; Cabeza, 1996; Krysiak, 2005; Laine, 2005). La sustentabilidad débil (formulada desde la racionalidad propia de la economía estándar) y sustentabilidad fuerte (formulada desde la economía ecológica).

La relación entre sustentabilidad fuerte y economía ecológica, se basa en la representación de la cantidad de productos que se puede consumir, sin degradar los stocks de capital natural, los suelos, la atmósfera, la biomasa de plantas y animales, el agua, etc.

Una economía sustentable se caracteriza por el uso de productos altamente calificados, la reutilización de productos secundarios y la minimización de residuos. La transición hacia una sociedad sustentable es la prevención de la disipación y uso más eficiente de los recursos y la energía. Las innovaciones sustentables no sólo comprenden la dimensión ambiental, sino también los aspectos económicos, sociales e institucionales.

La economía ecológica ha proliferado con ideas e intercambios entre diferentes disciplinas, fortaleciendo propuestas de estudio más concretos, que recaen sobre el análisis de sistemas particulares como el industrial, dando lugar a aproximaciones especialmente fértiles como la ecología industrial (Redondo & Carpintero, 2005).

La ecología industrial es una propuesta cuya base teórica se desprende de una disciplina ecléctica que conecta los principios y elementos de la economía con los de la biología. Considerando así que es forjada a la luz de las propuestas de la economía ecológica, como un tipo específico de relación que se establece entre la actividad humana (industrial) y la dinámica del sistema natural (Carrillo & Hernández, 2011).

La relación entre ecología industrial y economía ecológica tienen surgimiento de ambas disciplinas provenientes de la misma teoría, que tienen diferencias en algunos enfoques, pero trabajan bajo el mismo pensamiento, el de reconstruir la relación de la industria con el medio ambiente y la sociedad, minimizando o evitando los daños al medio ambiente.

La ecología industrial se basa en dos enfoques principales para alcanzar sus objetivos, se trata de los enfoques prescriptivos y descriptivos. Los enfoques *prescriptivos*, se centran en el rol potencial de la industria, en la reducción de las cargas ambientales en todo el ciclo de vida del producto, algunas herramientas de estos enfoques a través de los diferentes niveles de diseño incluyen: Diseño para el medio ambiente a nivel producto (*Design for Environment- DFE*), producción más limpia o prevención de la contaminación a nivel proceso (*Cleaner Production- CP*). Los enfoques *descriptivos* implican el análisis de los flujos de materiales y energía en las actividades industriales y de consumo y el efecto de estos flujos en el medio ambiente, las diferentes herramientas que se utilizan son el análisis de flujo de materiales, análisis de flujo de sustancias y análisis de ciclo de vida (M. A. Reuter et al., 2005, p. 56).

CAPITULO II. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y EVIDENCIA EMPÍRICA

En el capítulo II se aborda el pensamiento de ciclo de vida que integra estrategias de producción, consumo y prevención, considerando cuestiones ambientales desde una perspectiva holística, posteriormente se expone la metodología de análisis de ciclo de vida que es la metodología utilizada para evaluar los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio, considerando las pautas establecidas por la ISO14040 y la ISO 14044 y para México NMX-SAA-14040-IMNC-2008, finalmente se presentan casos de estudio que han desarrollado análisis de ciclo de vida en relación a productos forestales maderables donde se logra visualizar los múltiples enfoques para desarrollar los análisis.

2.1. Ciclo de vida del producto

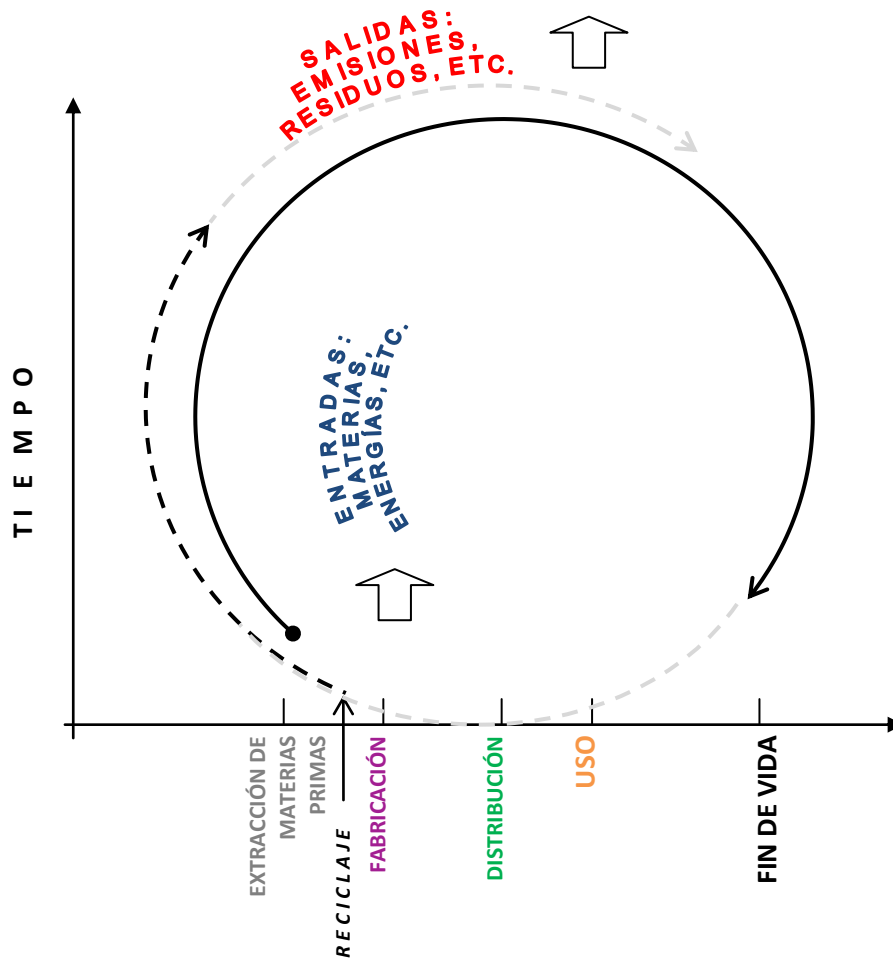
Gorreé et al., (2002), mencionan que el término como el de ciclo de vida tiene una amplia historia, ya que el concepto se manifiesta en muchas disciplinas y temas. Los organismos tienen un ciclo vital, desde el nacimiento hasta la muerte, las empresas, las políticas, etc. un ciclo sugiere un camino cerrado. En el caso de los productos tienen ciclos de vida en varios sentidos: desde el punto de vista del diseño, a partir de la generación de ideas y terminando con la comercialización, desde la perspectiva empresarial a partir de la cristalización de mercado y finalizando con la terminación del mercado, como se ve desde el costo, a partir de la I + D - costos y terminando con el costo de disposición, y así sucesivamente.

Hay una notable diferencia en el enfoque de ciclo de vida de un producto entre el punto de vista empresarial y desde el punto de vista de la ISO 14040. Como lo menciona (Levitt, 1965) desde el punto de vista empresarial pone énfasis en el aspecto evolutivo de un producto. De hecho, no se fija en un producto de manera singular, sino más bien un producto como un colectivo. Un producto representa entonces una serie de productos individuales, en un principio un número pequeño, más tarde un número mayor, y al final otra vez un número más pequeño. Cada uno de estos productos individuales tiene un ciclo de vida por sí mismo, en este sentido la norma ISO-14040 lo define desde *la cuna hasta la tumba*.

Por lo tanto y según aumenta la preocupación medioambiental, el comportamiento medioambiental de los productos y procesos se ha convertido en un aspecto clave, cada producto tiene su vida. La vida de un producto empieza en el diseño y desarrollo del producto y finaliza al final de vida de las actividades (reutilización, reciclaje, etc.) a través de las siguientes etapas (Figura 3) (Reuter et al., 2005):

- Adquisición de materias primas: Todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente, incluyendo el transporte previo a la producción.
- Proceso y fabricación: Actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado. En la práctica esta etapa se compone de una serie de sub etapas con productos intermedios que se forman a lo largo de la cadena del proceso.
- Distribución y transporte: Traslado del producto final al cliente.
- Uso, reutilización y mantenimiento: Utilización del producto acabado a lo largo de su vida en servicio.
- Reciclaje: Comienza una vez que el producto ha servido para su función inicial y consecuentemente se recicla a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado de reciclaje) o entra en un nuevo sistema de producto (ciclo de reciclaje abierto).

Figura 3. Ciclo de vida de un producto



Fuente: Elaboración propia en base a Guinée, (2002).

2.2. Pensamiento de ciclo de vida

El Pensamiento del Ciclo de Vida (PCV) es un concepto que integra estrategias de producción, el consumo actual, y prevención, es una forma de abordar las cuestiones ambientales y las oportunidades de un sistema desde una perspectiva holística.

El concepto de pensamiento del ciclo de vida según UNEP (2004) implica la vinculación de los procesos individuales a cadenas organizadas a partir de una función específica. El pensamiento del ciclo de vida manifiesta que todo el mundo tiene una responsabilidad y un papel que desempeñar en toda la cadena del ciclo de vida del producto, desde la cuna hasta la tumba, teniendo en cuenta todos los efectos externos relevantes, desde la extracción de la materia prima, fabricación, uso o consumo para su reutilización, reciclado o disposición final.

Las personas debemos ser conscientes del impacto que los productos o servicios tiene en el medio ambiente y tratar de reducir lo más posible. Los impactos de todas las etapas del ciclo de vida deben ser considerados al tomar decisiones informadas sobre los patrones de producción y consumo, las políticas y estrategias de gestión. Esta es también la idea detrás del objetivo global de la economía del ciclo de vida mencionado en las declaraciones de Malmo de más de 100 ministros de medio ambiente el 31 de mayo de 2000 (UNEP, 2004).

2.3. Análisis de ciclo de vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de soporte a la toma de decisión en el contexto del pensamiento de ciclo de vida, es una herramienta de análisis para la evaluación sistemática de los aspectos ambientales potenciales de un sistema, producto o servicio a través de todas las etapas de su ciclo de vida (EUROPEN, 2005)

Según el *Handbook of Industrial Ecology* publicado por (Ayres & Ayres, 2002), el ACV se considera como parte de la ecología industrial, (Udo de Haes, 2002) hace una distinción entre dos enfoques los cuales el ACV puede ser analizado; el primero es sobre estudios que se realizan en términos físicos y el segundo sobre estudios que se realizan en términos monetarios. Los estudios realizados en términos físicos tienen sus raíces históricas en el siglo XIX y surgen de Marx y Engels. Estos autores utilizaron el término metabolismo, que implica una relación material entre hombre y naturaleza, una interdependencia mutua más allá de la generalizada simple idea de la utilización de la naturaleza por el hombre (Fisher-Kowalski & Hüttler, 1999). Los estudios realizados en términos monetarios pueden tomar en cuenta el medio ambiente como extensiones físicas de los modelos monetarios, como el análisis input-output desarrollado en 1980 o incluso pueden abordar las consecuencias medioambientales de las actividades económicas en términos monetarios, como en el análisis de costo-beneficio. En seguida se hará una mayor descripción sobre el ACV analizado desde el enfoque de términos físicos (Leontief, 1986)

La evolución del ACV se ha desarrollado rápidamente durante los últimos tres decenios, considerando que surge a partir de los años 60's, alcanzando una etapa de maduración durante la década de los 90's y manteniendo una evolución continua desde el año 2000 hasta nuestros días, para mayor detalle (ANEXO 2).

Guinée et al., (2010) señala que a finales del año de 1960 y principios de 1970, surge un amplio interés por el público en general sobre cuestiones ambientales como la eficiencia de los recursos y la energía, el control de la contaminación y control de residuos sólidos, apareciendo así los primeros estudios de ACV. Como consecuencia de las predicciones de aumento de la población (prevención de un incremento de la demanda de recursos materiales y energéticos) y, sobre todo, a partir de la crisis del petróleo de los años 70's se llevaron a cabo un gran número de estudios más detallados encaminados, sobre todo, a la gestión óptima de los recursos energéticos. Dado que para estos estudios había que tener en cuenta los balances de materia del proceso, fue necesario incluir en ellos el consumo de materias primas y la generación de residuos.

Durante la década de los 80's numerosos estudios se realizaron utilizando diferentes métodos y sin un marco teórico común. Las consecuencias fueron más bien negativas, porque el ACV se aplicó directamente en la práctica por las empresas con el fin de fundamentar sus reclamaciones de mercado. Los resultados obtenidos defirieron grandemente, aunque los objetos de estudio fueron a menudo los mismos, impidiendo así que el ACV se convirtiera en una herramienta generalmente más aceptada con una aplicación analítica (Udo de Haes, 2002).

En 1990 bajo la coordinación de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental en inglés *Society of Environmental Toxicology and Chemistry-SETAC*, se inician esfuerzos para armonizar la metodología y sea aceptada como una herramienta de amplia aceptación formal, es así que se discute la definición del concepto de evaluación de ciclo de vida o análisis de ciclo de vida en inglés *Life Cycle Assessment*, acogido posteriormente por la comunidad internacional estudiosa del tema y sentando las bases del ACV (Chacón, 2008).

A partir de 1994, la Organización Internacional de Normalización en inglés *International Organization for Standardization – ISO*, que es un organismo privado, integrado principalmente por los organismos nacionales de normalización de cada país desempeña un papel crucial en el ACV, la ISO crea el comité técnico ISO/TC- 207 para el desarrollo de la serie ISO 14000 sobre sistemas de gestión ambiental y herramientas de apoyo, y dentro de este alcance dicho comité trabaja la serie de normas ISO 14040 sobre ACV a través del subcomité SC5 (Chacón, 2008).

Además el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en inglés *The United Nations Environmental Programme - UNEP*, específicamente a través de su División de Tecnología, Industria y Economía, promueve y brinda apoyo a los gobiernos y empresarios para

la aplicación de prácticas que contribuyan al desarrollo sustentable desde 1995 y tiene su enfoque en el uso global del ACV.

Es así que en el 2002, la UNEP se une a la labor de la SETAC para lanzar la iniciativa del ciclo de vida, creando una alianza internacional diseñada para poner en práctica el concepto del ciclo de vida. La iniciativa responde al llamado que hicieron diversos gobiernos mediante la Declaración de Malmo en el año 2000 para crear una economía de ciclo de vida, y constituye una aportación al marco de programas de diez años para promover patrones sustentables de consumo y producción, uno de los compromisos de la Cumbre Mundial de Desarrollo Sustentable celebrada en Johannesburgo en 2002. El primer fruto de la iniciativa del ciclo de vida fue la elaboración de estudios de definición con el propósito de bosquejar una ruta a seguir en los próximos años a fin de crear y difundir herramientas prácticas para evaluar las oportunidades, riesgos, ventajas y desventajas vinculadas al transcurso del ciclo de vida de productos y servicios, y así alcanzar el desarrollo sustentable.

En los últimos años en la década del año 2000, el ACV ha tenido importantes desarrollos, ya que se han elaborado evaluaciones en múltiples direcciones, así mismo se han venido desarrollando bases de datos regionalizadas, se siguen diseñando métodos de evaluación de impactos, se han mejorado métodos de análisis de incertidumbre, etc. Y como lo señala (Guinée et al., 2010) se cree que en la segunda década del siglo XXI será la década del análisis de ciclo de vida sustentable, donde se espera se desarrolle un marco de integración transdisciplinario para responder a las preguntas de diferentes niveles de productos, sectores y economías.

La norma ISO 14040 (2006), define al ACV como una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados a un producto mediante la compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes del sistema, la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas y la interpretación de los resultados del inventario y las fases de impacto en relación con los objetivos del estudio, incluye productos y servicios que proporcionan una función determinada (Ayres & Ayres, 2002).

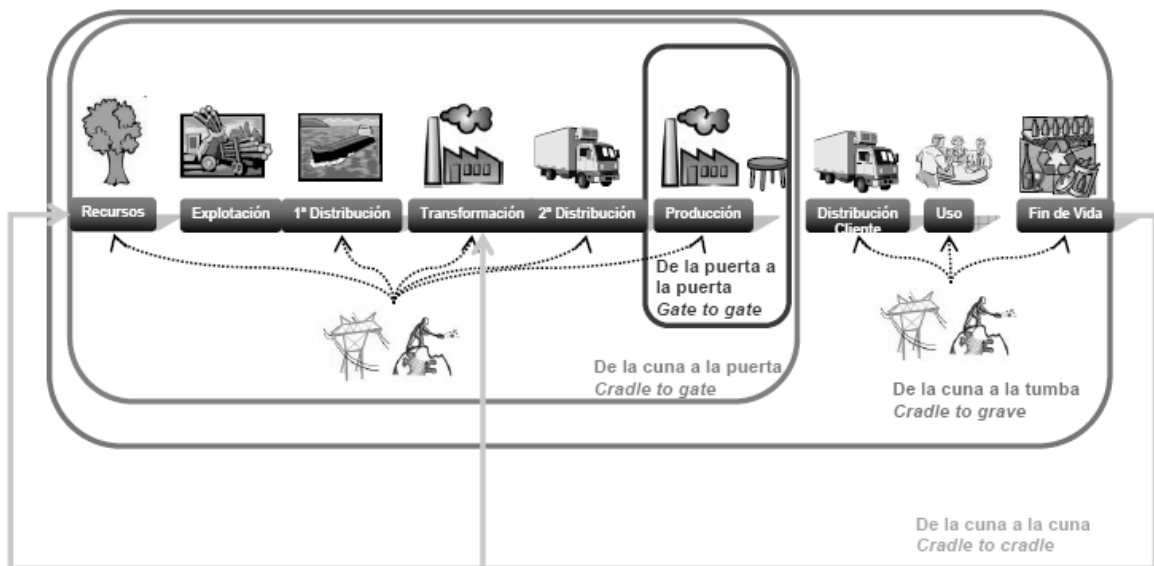
Según la publicación realizada por la UNEP-SETAC en el 2011, Principios universales de orientación para bases de datos de evaluación del ciclo de vida en inglés *Global guidance principles for life cycle assessment database*, el ACV evalúa el comportamiento medioambiental a lo largo de la secuencia de las actividades llevadas a cabo para crear un producto o prestar un servicio. La extracción y consumo de recursos (incluyendo energía) así también como emisiones al aire, agua y suelo son cuantificados a través de todas las etapas a lo largo del ciclo de vida

productos o servicios. La contribución potencial a las categorías de impacto son evaluadas, estas categorías incluyen cambio climático, eco toxicidad humana y ecológica, radiación ionizante, y deterioro de recursos básicos (agua, recursos de energía primaria no renovable, suelo) (Sonnemann et al., 2013).

El ACV por definición sugiere una evaluación del ciclo de vida *de la cuna a la tumba (cradle to grave)* de un producto, proceso o actividad donde se debe incluir todas las entradas y salidas de los procesos que participan en el ciclo de vida desde la obtención de recursos hasta la fase de residuo del producto incluido su reciclaje y/o gestión final. En la práctica, sin embargo, muchos estudios se limitan en alcance a una ACV parcial *de la cuna a la puerta (cradle to gate)* que incluye desde la obtención de recursos hasta el proceso productivo incluido, sobre todo por falta de tiempo o limitaciones en la disponibilidad de datos. Algunos estudios de ACV también están específicamente diseñados para abordar cuestiones determinadas y pueden no requerir una evaluación completa del ciclo de vida, como el caso del ACV *de puerta a puerta (gate to gate)* que se limita al análisis del proceso productivo de la empresa (IHOBE, 2009; R. Murphy, 2004), y además existe nuevo enfoque considerado en los últimos años, basado en tener en cuenta que las corrientes de salida del fin de vida del sistema pueden ser valoradas como materias primas y/o entradas al mismo sistema o a otro, a este tipo de enfoque se le denomina *de la cuna a la cuna (cradle to cradle)*(Figura 4), (IHOBE, 2009).

El ACV evalúa todas las etapas de la vida de un producto desde el punto de vista de que son interdependientes, lo que significa que una operación da lugar a la siguiente. El ACV permite la estimación de los impactos ambientales acumulativos resultantes de todas las etapas del ciclo de vida del producto, a menudo incluyendo los impactos no considerados en los análisis más tradicionales (por ejemplo, la extracción de materia prima, material de transporte, disposición final del producto, etc.). Para incluir los impactos durante el ciclo de vida del producto, el ACV ofrece una visión completa de los aspectos medioambientales del producto o proceso y una imagen más exacta de la realidad ambiental en la selección de producto y proceso (EPA, 2006).

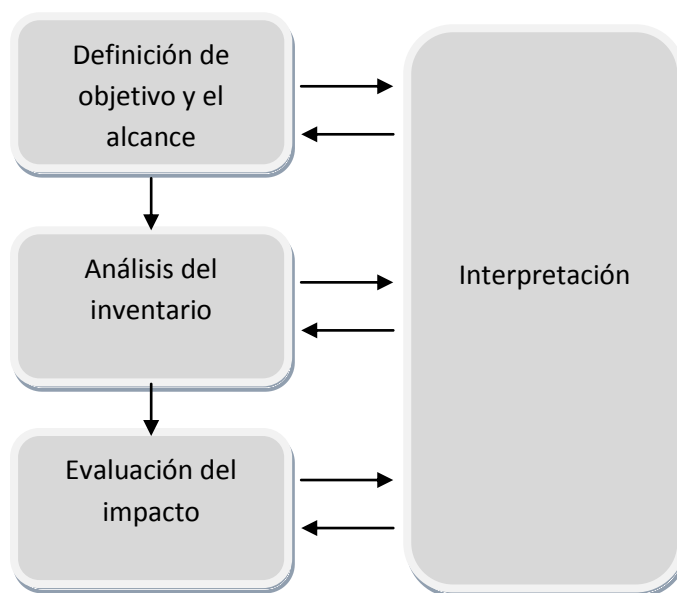
Figura 4. Alcance del análisis de ciclo de vida



Fuente: Tomado de (IHOBE, 2009)

El ACV debe ajustarse a lo establecido en la ISO y básicamente es normalizada en la ISO 14040:2006 donde se establece el marco general y la ISO 14044:2006 que es donde se abordan las fases en que puede dividirse un proyecto como: Definición de objetivo y alcance de estudio, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación (Figura 5) (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006).

Figura 5. Marco del análisis del ciclo de vida



Fuente: Tomado de UNE- EN ISO, (2006)

Estas fases no están limitadas a seguir en una única secuencia. Este es un proceso iterativo, en el que las iteraciones posteriores (rondas) pueden alcanzar niveles crecientes de detalle (desde un ACV conceptual hasta un ACV completo), o conducir a cambios en la primera fase impulsado por los resultados de la última fase. El ACV ha demostrado ser una herramienta valiosa para documentar y analizar las consideraciones ambientales de los sistemas de productos y servicios que necesitan para ser parte de la toma de decisiones hacia la sustentabilidad, en seguida se presenta una breve descripción de las fases que conforman la metodología de ACV (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006; UNEP, 2003).

✓ **Fase I. Definición de objetivo y el alcance del estudio.**

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo. También se establece la unidad funcional. La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado. Un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función.

La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático.

Debido a su naturaleza un ACV completo puede resultar extenso. Por esta razón se deben establecer unos límites que deberán quedar perfectamente identificados, los límites del sistema determinan que procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV. Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación previa del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto

✓ **Fase II. Análisis del inventario de ciclo de vida (ICV)**

Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional, considerados como carga ambiental. Esta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo, con esta definición se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc. Cuando se trabaje con sistemas que impliquen varios productos, en esta fase se procederá a asignar los flujos de materia y energía así como las emisiones al medio ambiente asociadas a cada producto o subproducto.

✓ **Fase III. Evaluación del impacto -evaluación del inventario de ciclo de vida (EICV)**

La evaluación del impacto es un enfoque relativo basado en una unidad funcional, que incluye la recopilación de los resultados de indicadores para las diferentes categorías de impacto, que juntas representan el perfil de la EICV para el sistema del producto.

Los resultados del inventario de ciclo de vida o indicadores de intervenciones ambientales son traducidos con la ayuda de un método de evaluación de impacto. Los impactos pueden ser evaluados en puntos medios y puntos finales, ANEXO 3.

La EICV es constituida por elementos obligatorios y opcionales.

Los elementos considerados obligatorios son:

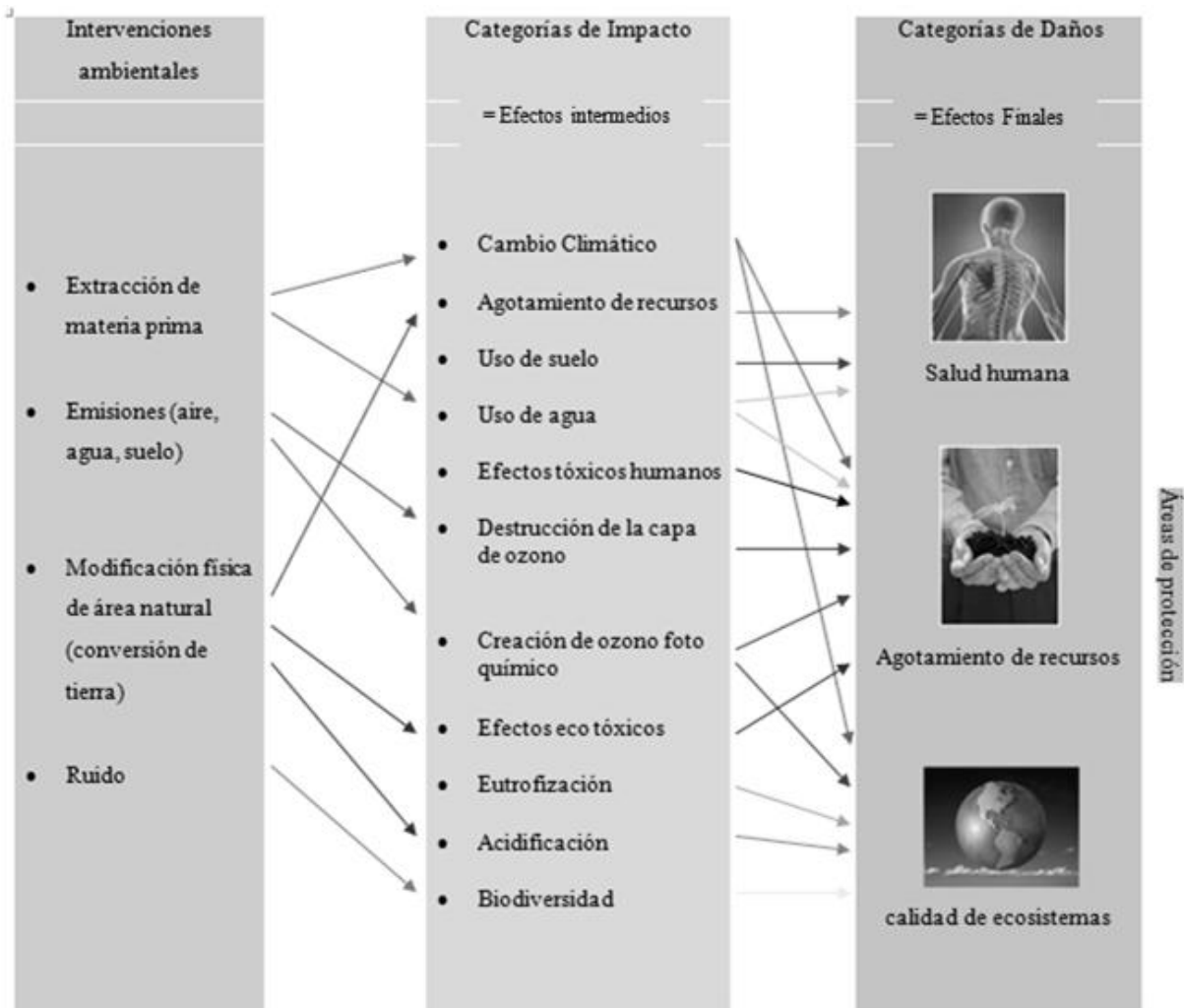
1. *Selección de categorías de impacto*, indicadores de categoría y modelos de caracterización;
2. Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas (*Clasificación*), en esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental generado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistema de productos.
3. Cálculo de los resultados de indicadores de categoría (*Caracterización*). Implica la conversión de los resultados del ICV a unidades comunes y la suma de los resultados convertidos dentro de la misma categoría de impacto. Esta conversión utiliza los factores de caracterización. La salida del cálculo es el resultado numérico de un indicador.

Además existe una serie de elementos opcionales de información que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV:

1. Normalización: cálculo de la magnitud de los resultados de indicadores de categoría en relación con la información de referencia. El propósito de la normalización es entender mejor la magnitud relativa para cada resultado del indicador del sistema del producto bajo estudio.
2. Agrupación: organización, y posible clasificación de las categorías de impacto.
3. Ponderación: conversión y posible suma de los resultados del indicador a través de las categorías de impacto utilizando factores numéricos basados en juicios de valor.
4. Análisis de la calidad de los datos: mejor comprensión de la fiabilidad en la recopilación de los resultados del indicador, y del perfil de la EICV.

En principio el ACV cubre todos los tipos importantes de impactos ambientales. En el ANEXO 3 se enumeran las categorías de impacto ambientales que puedan ser consideradas en el ACV. En realidad el ACV a menudo se limita a los impactos ambientales que pueden ser cuantificados usando metodologías existentes para evaluar el impacto del ciclo de vida, cada una de las cuales establece una serie de categorías ambientales a analizar (eutrofización, acidificación, calentamiento global, etc.) estas metodologías pueden ser agrupadas en mid-points (efectos intermedios) o end-points (efectos finales), en función de dónde definen el impacto en la relación causa-efecto ambiental. Las metodologías mid-point definen el efecto ambiental sin llegar a identificar el daño causado al hombre y a los sistemas naturales y sin embargo los end-points si lo hacen. Sin embargo, el enfoque correcto es incluir todos los tipos de impactos ambientales en las evaluaciones, aunque algunos tipos de impactos sólo pueden ser evaluados cualitativamente (Figura 6) (UNEP & SETAC, 2011).

Figura 6. Esquema del marco ambiental, efectos intermedios y efectos finales.



Fuente: Tomado de UNEP (2011).

✓ **Fase IV. Interpretación:**

Es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados de análisis del inventario con la evaluación de impacto. Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cuál presenta un mejor comportamiento ambiental. Y como lo

marca la ISO 14040, se plantean importantes cuestiones incluida una evaluación del estudio teniendo en cuenta la integridad, análisis de sensibilidad y consistencia, así como limitaciones.

Si bien todos los ACV deben cubrir las mismas etapas, el nivel de detalle no es el mismo en todos ellos, ya que depende del objetivo a cubrir. Ello da lugar a la diferenciación de tres tipos de ACV:

ACV conceptual. Es el ACV más sencillo. Se trata de un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos que son más significativos. Los datos que se utilizan son cualitativos y muy generales.

ACV simplificado. Es el segundo en escala de complejidad. Consiste en aplicar la metodología de ACV para llevar a cabo un análisis selectivo (tomado sólo en consideración datos genéricos y abarcando el ciclo de vida de forma superficial), seguido de una simplificación (centrándose en las etapas más importantes) y un análisis de la fiabilidad de los resultados.

ACV completo. Es el nivel más complejo. Consiste en realizar un análisis en detalle, tanto del inventario como de los impactos, de forma cualitativa y cuantitativa.

En la presente investigación se considera un análisis de tipo simplificado ya que se aplicará un ACV con un análisis selectivo, considerando los datos internos de la UCFAS, y basándose en requisiciones de compra, cálculo de distancias y aproximación de emisiones, ya no se considera ningún tipo de medición de las emisiones generadas por sus procesos.

2.4. Estudios previos de análisis de ciclo de vida en productos forestales maderables

Se ha realizado una revisión sobre el estado del arte del ACV y su aplicación principalmente en maderas blandas desde el proceso de producción de madera aserrada, tableros, hasta muebles terminados, considerando los últimos diez años, esta revisión se hizo en bases de datos científicas, donde algunos de los artículos presentados realizan evaluaciones de ciclo de vida completo y otros parciales, esta revisión se ha hecho con la finalidad de conocer los resultados que han obtenido diferente autores en diversos procesos productivos en las empresas forestales, con esto nos damos una idea de cómo se ha trabajado la metodología de ACV y su forma de aplicación en distintas fases del sistema, además de tener puntos de referencia para ubicarnos en qué situación se encuentra la EFC.

Se observa también que la mayoría de los estudios de caso de ACV se han realizado en los países desarrollados en Europa y en E.U., y que existen pocos estudios comparables en la literatura de los países en desarrollo como México, cabe notar que en el último año se han elaborado ACV por parte de Brasil, lo cual indica el avance de la ideología de pensamiento de ciclo de vida en los países en desarrollo. Los indicadores de sustentabilidad en el sector forestal están siendo desarrollados y utilizados a fin de orientar indicadores medioambientales y energéticos a nivel mundial. Ya que si bien se sabe los países en desarrollo también aportan grandes cantidades de emisiones a la atmosfera y es necesario actuar para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y se realicen evaluaciones en sus procesos de producción para generar datos e inventarios e identificar impactos ambientales potenciales en las industrias y en este caso a las relacionadas al sector forestal (FAO, 2010b).

En seguida se presenta una relación de autores que han desarrollado ACV en productos de madera y tableros (Tabla 8).

Wilson & Sakimoto (2005) elaboran el cálculo de datos para el inventario de ciclo de vida (ICV) que es conducido hacia la fabricación de tableros contrachapados (*plywood*). Este estudio se realiza mediante el análisis *puerta a puerta* incluyendo todos los materiales, combustibles, entradas de electricidad para producir plywood, co-productos y emisiones. Los datos fueron recolectados a través de encuestas a empresas fabricantes del Noreste del Pacífico y Sureste de los Estados Unidos. Se establece como unidad funcional 1m^3 de plywood. y en el ICV se consideran datos de flujos de carbono. Los datos obtenidos son útiles para generar un análisis *de la cuna a la puerta* de un producto cuando se combina con los ICV para producir trozo para el

aserradero, impactos del transporte de material, con este inventario se pueden desarrollar ACV para paredes, pisos y techos u otros productos elaborados a base de tablero plywood.

Kline (2005), por medio de encuestas a empresas fabricantes de tablero de virutas orientadas (*oriented strand board - OSB*) al Sureste de Estados Unidos, elabora el inventario de ciclo de vida para OSB, la producción de estas empresas representa el 18% de la producción total de esa región. Se consideró como unidad funcional 0.88m^3 de panel de OSB. Se observó que se requiere de 771.6 kg de madera en rollo como entrada de material para producir 545.7 kg de producto final OSB, dando un aprovechamiento del 71% de la materia prima. El 29% restante es considerado como salidas de este proceso que son residuos de madera utilizados como combustible (25%), el 4% es vendido como co-producto y menos de 0.01% es enviado a vertederos. La mayor cantidad de energía utilizada es la calorífica y un 89.6% de esta es generada por combustión de residuos de madera. El uso de combustibles fósiles como gas natural, gas licuado petróleo, resinas, las cuales incluyen fenol-formaldehído y ceras que representan el 68% de las entradas de energía fuera del lugar en la fabricación del OSB.

Kline llega a la conclusión de que todas las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) provienen desde la biomasa y principalmente por carbono (78%), compuestos orgánicos volátiles (covs) (58%) y partículas (62%) que son generadas en la fábrica. Las emisiones de metano y principalmente óxidos de azufre SO_x (99%), CO_2 desde combustibles fósiles (81%) y óxidos de nitrógeno NO_x (78%) son emisiones al aire generadas fuera del lugar de producción como entrega de combustibles, resinas, ceras y electricidad. El 61% del total de las emisiones de CO_2 generado en ambos lugares dentro y fuera del lugar, son de biomasa.

Puettmann & Wilson (2005) desarrollaron el ICV para la producción de tableros de madera laminada (*glued laminated timbers- glulam*) fabricadas en las regiones del Noreste del Pacífico y Sureste de Estados Unidos. Se recolectaron datos de encuestas a fábricas de ambas regiones, donde el 70% y 43% de la producción de las fábricas representan el total de la producción. Se consideró como unidad funcional 1m^3 de glulam y se consideraron dos procesos cold-cure (CC) y radio-frequency (RF). Las contribuciones al proceso de glulam incluyen impactos para las entradas de madera y adhesivos. Los resultados muestran que la madera seca y la fabricación de adhesivos tienen mayor impacto ambiental en el proceso de glulam.

En la región del Noroeste del Pacífico la energía acumulada fue conducida por el proceso de secado de la madera la cual fue generada principalmente por biomasa. La energía desde desperdicios de madera representó el 47% (sin co-producto) de la energía acumulada para la

producción de glulam (incluyendo resina y madera). En la región Sureste se requirió mayor cantidad de energía para el proceso de secado. Toda la madera producida en esta región fue secada por biomasa.

Se concluye que los datos reportados por las fábricas de glulam con respecto a las emisiones al aire difieren con respecto a los procesos CC y RF. Todas las emisiones relacionadas con el proceso CC fueron más altas en relación con las del proceso RF debido a la gran cantidad de resina usada. Además la diferencia de datos entre las dos fábricas es atribuida a la necesidad de secar el material antes de ensamblar el glulam. La norma para la producción de glulam requiere que el material no exceda el 16% de humedad al momento de pegar. La energía difiere entre las dos regiones debido a las prácticas de proceso de calentado y enfriado en las instalaciones.

Wilson & Dancer (2005b) realizan el ICV de la producción de viguetas laminadas (*laminated veneer lumber- LVL*), mediante un análisis *de puerta a puerta*. Se realizaron encuestas en las regiones Noreste y Sureste de Estados Unidos, donde la producción generada representaba el 33 y 52% del total de la producción de esas regiones. Se consideró como unidad funcional 1 m³ de producto, las entradas se consideraron chapa laminada seca (*parallel laminated veneer- PLV*), combustibles, electricidad, resina de fenol-formaldehído, mientras que en las salidas se consideraron: producto LVL, variedad de madera como co-producto vendido a otras fabricas, emisiones al aire, agua y suelo. Los impactos considerados fueron debido a la producción del chapado seco y el PLV.

El uso de energía para la fabricación de LVL en la planta es dominada por la combustión de gas natural y electricidad. Sin embargo cuando se considera el uso de combustible para producir el chapado seco y el PLV el combustible dominante es la biomasa que son residuos de madera o corteza generada durante su proceso. El combustible de madera en la región Noreste y Sureste respectivamente representan el 41% y 35% de uso acumulado de combustible en el cual se incluye combustible para producir y transportar electricidad, combustibles, y resinas y retroalimentar la producción de resinas. El combustible de madera contribuye a un 70% y 56% del CO₂ producido debido a la combustión de combustible por las condiciones de ambas regiones, el beneficio del CO₂ derivado de la madera es que se considera que tiene un impacto neutral en las emisiones de efecto invernadero.

Realizaron el seguimiento de carbono desde las entradas hasta la producción de LVL, co-productos y las emisiones. Los materiales a base de madera contienen cerca del 50% de carbono donde en productos como LVL y co-productos como el aserrín y virutas son eventualmente

convertidas a otros productos maderables del consumidor. Las salidas de material maderable desde los procesos de LVL contienen 95.6% y 91.3% del carbón total biogénico con 236,000 kg y 287,000 kg para la región Noreste y Sureste respectivamente. Esto representa 965,000 kg y 1, 053,000 kg de CO₂ removido desde la atmosfera por 1000m³ de LVL respectivamente.

Milota, et al., (2006) desarrollan el inventario de ciclo de vida para la producción de madera aserrada para construcción en los Estados Unidos, se elaboran nueve encuestas a empresas fabricantes para obtener datos de consumo de energía y consumo de materiales donde se recibió respuesta de cuatro empresas; se estableció como unidad funcional 1.623m³ de madera aserrada estufada. Se realizó un alcance del sistema *puerta a puerta*, éste análisis es desarrollado en las regiones Oeste y Sur de Estados Unidos. El inventario de materiales y energía se realizó con ayuda de la base de datos *Franklin database* para determinar los impactos asociados con el material y uso de energía, además para desarrollar el análisis se usó el software SimaPro v.5.0. El proceso se subdividió en cuatro procesos unitarios: aserrío, secado, generación de energía y cepillado, con una asignación en base a masa de productos y co-productos. La mayor cantidad de energía usada para la producción en el sur es generada por combustible de madera (biomasa), y se observa que las emisiones de CO₂ son mayores en el sur debido a que se requiere mayor cantidad de biomasa 574 kg vs 419 kg (Oeste) para producir 1.623 m³ de madera aserrada seca, esto podría ser debido a la cantidad de agua contenida en las especies de madera del sur.

Los resultados que se obtuvieron considerando el inventario y la unidad funcional en ambas zonas se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de ACV de madera aserrada obtenidos según

Proceso	Unidad Funcional	Aserrío		Estufado y cepillado	CO ₂ fósil	voc	Balance de Carbono
Aserrío – Sur	1.623 m ³	1.91m3	1007 kg	883 kg	574kg	848 kg	1113.3 kg
Aserrío- Oeste	1.623 m ³	1.97 m3	818 kg	734 kg	419 kg	129 kg	907.9 kg

Fuente: Elaboración propia con base a (Milota et al., 2006)

Rivela et al., (2006) han generado datos para desarrollar el ICV para la fabricación de tableros de partículas (*oriented strand board -OSB*). El análisis es realizado en una fábrica española, los límites del sistema incluyen todas las actividades que se desarrollan en el interior de la fábrica,

así como las actividades asociadas con la producción de los principales productos químicos utilizados en el proceso, entradas de energía y transporte.

Se establece como unidad funcional 1m^3 de tablero para uso interior hecho de residuos de madera y adhesivo resistente al agua. Se definen tres subsistemas como: preparación de madera, conformado del tablero y terminado del tablero.

Se utiliza la metodología del ICV para cuantificar los impactos del proceso de producción del tablero. El sistema es caracterizado con la metodología del Ecoindicador 99, se identifica que los mayores daños son provocados en el subsistema de terminado del tablero con daños a la salud humana y el subsistema de conformado de tablero es el que principalmente contribuye a los daños de los recursos y calidad de los ecosistemas. Y a modo de conclusión se crea una base de datos para identificar y caracterizar la manufactura del tablero, poniendo atención a la etapa de análisis de inventario de la industria de tableros.

González-García et al., (2009) elaboran el ciclo de vida de la producción de madera, considerando un alcance del sistema *de la cuna a la tumba* en una planta de tableros convencionales, el proceso se dividió en tres subsistemas: preparación de madera, tableros de conformación y terminado del tablero. Las actividades auxiliares, tales como productos químicos, astillas de madera, energía térmica y la producción de electricidad y el transporte se incluyeron dentro de los límites del sistema. Los datos del inventario se recogieron de entrevistas y encuestas (mediciones in situ) y cuando fue necesario, los datos fueron complementados con recursos bibliográficos. El procedimiento de evaluación de ciclo de vida siguió la serie ISO14040. El inventario del ciclo de vida (ICV) y la base de datos de evaluación de impacto de este estudio se construyeron utilizando el software SimaPro versión 7.0.

Se consideraron las siguientes categorías de impacto: Agotamiento abiótico, el calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad, formación de oxidantes fotoquímicos, la acidificación y la eutrofización fueron las categorías de impacto analizadas en este estudio. Varios procesos fueron identificados como puntos críticos en este estudio: la producción de resina de fenol-formaldehído (con una gran contribución a toxicidad humana, toxicidad al agua dulce, ecotoxicidad acuática, la producción de electricidad (principal contribuyente a la ecotoxicidad acuática marina), la producción de astillas de madera y finalmente, la quema de biomasa para la producción de calor (identificado como el mayor contribuyente a la acidificación y eutrofización debido a las emisiones de NO_x). Además, las emisiones de formaldehído no controladas de los procesos de fabricación de la planta, como el

secado de la fibra que deben ser controlados debido a contribuciones relevantes a la ecotoxicidad terrestre.

J. Wilson, (2010) Este estudio desarrolla los datos del ICV para tableros de fibra de densidad media (*Medium density fibreboard -MDF*), un producto de panel de madera compuesto formado por fibras de madera, resina de urea-formaldehído, cera, y otros aditivos. Los datos se dan para tanto, resina in situ (fabricación MDF) se incluyen los impactos ambientales para producir y entregar los combustibles de entrada, electricidad, agua, residuos de madera y cera. Se siguieron las guías de la metodología de CORRIM y de la ISO 14040 y 14044. Como unidad funcional se considera 1 m³ de tablero terminado listo para embarcar, con un peso de 741 kg en base de masa seca. El análisis se hace con ayuda del software Simapro 7.0 y la base de datos Franklin Asociados, con datos de la base Ecoinvent v1.0. Se consideran dos alcances 1) *puerta a puerta* para el tablero MDF y *de la cuna a la puerta* para el producto final.

Los resultados muestran que el proceso del MDF las emisiones para su fabricación son una importante contribución a las emisiones totales, se relacionas estas emisiones al prensado en caliente emitiendo partículas covs, formaldehído y metanol.

Eshun et al., (2010) publican un estudio donde el objetivo principal es la recopilación de datos para la generación de un ICV completo para identificar las presiones ambientales más dominantes durante cinco líneas de producción más importantes de la industria de la madera en Ghana. Las líneas de producción analizadas son: madera secada al aire, madera secada en horno, madera contrachapada, chapas y piezas de muebles. El segundo objetivo es evaluar la influencia de la elección de la unidad funcional en los resultados, por lo tanto para una comparación justa de los diferentes productos de madera se establecieron como unidades funcionales (1 m³, 1 kg, y € 1).

Los datos se recopilaron de treintena empresas seleccionadas en Ghana. Estas empresas proporcionaron datos sobre sus usos de materiales, requerimientos de energía y generación de residuos en sus operaciones desde 2000 a 2007. Los datos recogidos son convertidos en un total de los valores medios anuales, y posteriormente se realiza una extrapolación para reflejar los promedios nacionales para las 104 empresas activas.

Como resultados se ha detectado que el cambio del uso del suelo para la producción de madera en Ghana entre los períodos estimados resultó ser 34.0×10^3 hectáreas por año, lo que llevará a completar la deforestación en el año 2023 si continúa. La energía total consumida por el sector de la madera por año se estimó en 1.9×10^9 MJ por año. Los resultados mostraron que las

emisiones de CO₂ en las actividades del sector de la madera por año representaron 745k toneladas por año y dominan las emisiones globales de gases de efecto invernadero en el sector. Los residuos de madera por este tipo de industria representaron 0.8 millones de m³ por año. El enorme desperdicio de madera ha contribuido enormemente al rápido agotamiento de los recursos de la madera del país. La elección de la unidad funcional influye en los resultados del inventario. La unidad funcional basada en el dinero, parece ser la más apropiada para los diferentes productos considerados, y favorece el valor añadido. Los productos de valor añadido con una estricta política de gestión forestal sostenible mantienen un prometedor futuro en términos de sustentabilidad para la industria de la madera en Ghana.

González-García et al., (2011) realizan el ACV de un tablero de fibra de madera para identificar los procesos con los mayores impactos ambientales. El estudio cubre la perspectiva *de la cuna a la puerta*. El proceso es dividido en subsistemas considerados como: preparación de la madera, conformado del tablero y terminado del tablero, considerando también actividades complementarias como uso de químicos, astillas, energía térmica y producción de electricidad. El análisis es realizado en una fábrica austriaca, considerando como unidad funcional 1m³ de tablero terminado.

Se identifica que el subsistema que contribuye con más del 50% a todas las categorías de impacto es durante la preparación de la madera (debido al uso de químicos), seguido por el conformado del tablero y el terminado del tablero. También se identifican los puntos problema como la producción de formaldehídos, producción de electricidad, producción de virutas de madera, y finalmente la quema de biomasa para la generación de calor.

La producción de la principal materia prima (astillas verdes) fue identificada como el principal contribuyente en varias categorías de impacto como el agotamiento de recursos abióticos esto debido al alto consumo de diesel por el uso de las máquinas. Por el contrario las actividades relacionadas con la producción de madera en rollo, muestran una contribución insignificante en todas las categorías de impacto. Además, los resultados de los el análisis de sensibilidad mostraron una dependencia considerable en el perfil de generación de electricidad, considerando los sistemas de energía renovable y nuclear como mejor opción. También se considera la sustitución de formaldehído por uno de origen natural, un bio-adhesivo llamado lacasse que resultaría un mayor beneficio ambiental y la reducción de la demanda de energía en comparación con el sistema convencional.

González-García et al., (2011) realizan una evaluación para determinar el calentamiento global potencial de los productos de madera del sector del mueble para mejorar su eco-diseño mediante el uso de las metodologías ACV y DFE (*Desing for the environmental- Diseño para el ambiente*). El objetivo de la investigación es cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero de cada producto. Los productos son agrupados en productos utilizados en interiores: cama, un armario de cocina, una mesa de oficina, muebles de salón, una cabecera de cama, accesorios juveniles de habitaciones y de una caja de vino; dentro de los productos de exteriores : muro de madera ventilado y una zona de juegos de madera. El análisis fue realizado en dos empresas españolas una ubicada en Galicia y otra en Cataluña. El ACV fue realizado bajo la perspectiva *de la cuna a la puerta* usando la categoría de impacto de calentamiento global potencial. Se ha establecido como unidad funcional un 1kg de material de cada producto terminado. De acuerdo a los resultados obtenidos de cada producto los metales, el uso de energía y los tableros de madera utilizados, son los elementos que en mayor proporción contribuyen al impacto ambiental de los diferentes productos analizados, con un rango de contribución del 40 al 90%. También se hace uso del ecodiseño mediante la metodología del DFE para mejorar aspectos enfocándose en el uso de energías renovables como la energía fotovoltaica y el cambio de materiales utilizados.

Gonzalez-Garcia et al., (2012) elabora un ACV de un parque infantil modular de madera. Este estudio abarca todo el ciclo de vida del proceso de producción de la zona de juegos y su distribución final con una perspectiva *de la cuna a la puerta*. Se considera 528 kg como unidad funcional, ya que esto es el peso del parque infantil modular. Los datos para elaborar el ICV son considerados luego de obtenerlos de las mediciones in situ, así como datos como pinturas, metales, piezas de plástico se obtuvieron de bases de datos, además de los datos de los tableros laminados de madera contrachapada y madera solida fueron tomados de la base de datosecoinvent. Se consideran diez categorías de impacto a evaluar: el agotamiento abiótico, acidificación, la eutrofización, el calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono, la toxicidad humana, de agua dulce ecotoxicidad acuática, ecotoxicidad acuática marina, ecotoxicidad terrestre y formación de oxidantes fotoquímicos. De acuerdo con los resultados ambientales, la etapa de montaje es la que contribuyente en un 60% con respecto a las otras, al igual que las etapas de lacado y consumo de energía que son relevantes en términos de categorías de impacto de ecotoxicidad.

En cuanto a los resultados del ecodiseño, las estrategias propuestas fueron evaluadas / seleccionadas desde el punto de vista tecnológico, económico y social por un equipo

interdisciplinario de investigadores y trabajadores de la empresa, lo que demuestra que las estrategias con mayor viabilidad fueron: rediseño de productos para la reducción de materiales utilizados, la sustitución de aluminio por el acero inoxidable, la combinación de transporte marítimo y por carretera para los materiales de madera, la minimización de la cantidad de componentes en el área de la estructura y la instalación, la definición de un protocolo para el desmontaje y el uso del producto y embalaje. Se logran reducciones de impactos hasta 11% con respecto al perfil ambiental. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten predecir la importancia de la selección de las materias primas conforme a las cargas ambientales asociadas.

Athena Sustainable Materials Institute (2013), desarrolla el inventario de ciclo de vida del tablero MDF, estableciendo como unidad funcional 1m^3 de tablero, este análisis se realiza bajo el marco de ISO14040/14044. Este análisis fue realizado en diferentes empresas de Canadá. Se considera una densidad del panel de $761\text{kg}/\text{m}^3$, se trata de un estudio *de la cuna a la puerta*, el sistema incluye la preparación de la madera, el secado, el conformado del tablero, el terminado final que incluye enfriamiento, corte, cepillado y empaque. Se establece como unidad funcional 1m^3 de tablero MDF. La evaluación de impacto se hace mediante el software SimaPro, y el método de impacto TRACI, donde se consideran las categorías de impacto de: calentamiento global, acidificación, eutrofización, smog fotoquímico, agotamiento de la capa de ozono, además de incluir la energía primaria total. Los resultados indican que la contribución al impacto ambiental es de $393.53\text{ KgCO}_2\text{ eq}$ en la categoría de calentamiento global, de 243.18 H+moles eq en acidificación, por cada m^3 de MDF producido.

Mirabella et al., (2014b) desarrollan el ACV con el objeto de evaluar ambientalmente los prototipos de muebles producidos con madera certificada y la integración de criterios de ecodiseño. Se establecieron dos objetivos del estudio: en primer lugar, evaluar el perfil ambiental de los muebles, destacando los posibles puntos problema de los impactos, y en segundo lugar, evaluar la capacidad de análisis del ciclo de vida (ACV) para identificar el beneficio ambiental asociado a la adopción de las estrategias de eco-innovación, tales como: asegurar la cadena de suministro corta desde la materia prima a la producción; el uso de madera procedente de bosques certificados (según el Programa de Reconocimiento de Certificación Forestal -*Programme for the Endorsement of Forest Certification* -PEFC); y la implementación de los principios de diseño ecológico, también asociado con los requisitos verdes de contratación pública.

El método de ACV se ha aplicado en un caso práctico relacionado con el sector de muebles de madera en la región alpina del norte de Italia. Cada actividad fue modelada a partir de datos

primarios, relacionados con las entradas y salidas de los procesos, las entradas relacionadas con las actividades forestales y la extracción de madera fueron proporcionados directamente por los diseñadores y firmas de carpintería, estos datos fueron recogidos y tratados en una fase anterior del estudio. Se considera como unidad funcional 1 escritorio de madera. Se analizó el ciclo de vida de un prototipo de escritorio de escuela desde la perspectiva *de la cuna a la puerta*, haciendo una pequeña corrida de 100 escritorios, iniciando con uno y escalando los datos a 100 piezas. El volumen de masa por escritorio fue de 667 kg/m^3 considerando un 20% contenido de humedad. Una planta de carpintería fue examinada a detalle, dividiendo todo el proceso de fabricación en cuatro fases: producción de paneles, carpintería, pintura y procesamiento de piezas de acero. Los límites del sistema incluyen todas las actividades que tienen lugar dentro de la planta, así como los insumos de energía, los transportes y los productos auxiliares utilizados. Se considera el método de impacto Recipe 2008, además se consideran las siguientes categorías de impacto: Cambio climático, agotamiento de capa de ozono, toxicidad humana, formación de oxidantes fotoquímicos, la formación de materia particulada, la radiación ionizante, acidificación terrestre, eutrofización de agua dulce, eutrofización marina, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad marina, agricultura y ocupación del suelo urbano, la transformación de tierras naturales, agotamiento de agua y metales, y el agotamiento de fósiles.

Los resultados arrojaron que la fase de trabajo que muestran las mayores cargas ambientales fue la producción de tableros de madera maciza y el procesamiento de piezas de hierro. Conforme a los productos químicos, pegamentos y pinturas no hubo discusión debido a que el diseño se basó a los principios de diseño ecológico implementados en la producción de los muebles. La elección de una cadena de suministro corta permitió reducir de manera drástica los impactos asociados a los transportes de larga distancia. Tres análisis de sensibilidad se llevaron a cabo para probar la solidez de los resultados en relación con lo siguiente: (1) opciones de pegamento, (2) fase de secado y las emisiones de COV, y (3) las opciones de transporte. Finalmente se llegó a la conclusión de que este estudio demuestra los criterios de diseño ecológico implementado en la práctica a mejorar el desempeño ambiental de los productos. Además de que todos los efectos positivos debido a la toma de decisiones consideradas en el diseño de escritorio de la escuela y la concepción fueron apoyados por la evidencia.

Moro et al., (2014), elaboran un estudio para analizar el perfil ambiental de la fabricación de paneles de MDF en la industria brasileña en términos de energía, las emisiones y la dependencia en fuentes renovables. El análisis se hace bajo el software Umberto v.5.6 en base a la serie ISO 14040. El estudio abarca la producción de MDF desde la perspectiva *puerta a puerta* que implica

sólo la fabricación dentro del lugar de análisis. Se define 1m³ de MDF como unidad funcional. Los resultados obtenidos fueron que menos del 10% de las fuentes de combustibles utilizados para la generación de vapor y aire caliente proviene de combustibles fósiles y de recursos naturales renovables. Es así que el dióxido de carbono implica la contribución más alta de emisiones en la producción de MDF. Es decir, el CO₂ (fósil) comprende el 76,9% de las emisiones totales (34,7 kg.m⁻³).

Para producir 1.0 m³ de MDF se requiere de 4.320 MJ (76.6% térmica y el 23.4% de energía eléctrica). El consumo total de energía de combustible de madera reciclada en la industria representa el 41.4%. Se requiere 52.8% de la energía térmica para el proceso de secado de la fibra de madera. Con respecto a las emisiones, el gas natural contribuye con el 96.7% del total de CO₂ fósil. Los resultados de este análisis según el autor pueden ser utilizados para las decisiones estratégicas para mejorar el desempeño ambiental de MDF. Por ejemplo, el cambio de gas natural por una central térmica que utilice residuos de madera como combustible podría disminuir el nivel de dependencia de las fuentes no renovables (aproximadamente 19.2% a 7.1%) y reducir las emisiones fósiles de CO₂.

Murphy et al., (2015) realizan un estudio para determinar y analizar los insumos de energía y materiales en la producción de varios productos de madera; madera aserrada, astillas de madera, tableros de madera, juntas y pellets de madera, con un análisis de la resultante de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se considera un alcance *de la cuna a la puerta*, donde se suponen todos los procesos de producción de la materia prima hasta el producto terminado en la puerta de la fábrica. Como unidades funcionales se considera para la madera aserrada 1m³ de producto, para la viruta de madera y pelles de madera se considera 1 tonelada de producto en base seca además se expresan los resultados en Gigajulios para la energía contenida en la biomasa.

Las operaciones forestales y transporte suponen una importante contribución a las emisiones totales de madera aserrada y la cadena productiva de chips de madera. El uso de electricidad es la principal causa de la mayoría de las emisiones en los aserraderos. Además en el caso de la producción de MDF y el OSB el uso de resina tiene un alto impacto en las emisiones de GEI. Además se concluye que las emisiones de GEI pueden reducirse considerablemente si se realiza una integración entre aserraderos y planta de pellets.

Iritani et al., (2015) realiza la evaluación del desempeño ambiental de un armario construido a partir de partículas de densidad media (*Medium Density Particleboard -MDP*). Se considera un

alcance *de la cuna a la puerta*, donde se analizan tres etapas principales: suministro de materias primas, fabricación del armario y de distribución del armario. Se considera una unidad funcional de 40 kg que es el peso del armario, con una duración de vida de 5 años. Se llevó a cabo el proceso de modelado mediante el software GaBi profesional versión 4.4 basado en el modelado atribucional y el método EDIP-97. Los resultados de la evaluación del ciclo de vida arrojaron información sobre los impactos más importantes que ocurren en las etapas de suministro de materias primas y la distribución del producto final (armario) y las categorías de impacto más relevantes fueron la toxicidad humana, el calentamiento global y la acidificación, por un total de 68.0% de los impactos globales del ciclo de vida. Sobre la base de estos resultados y una revisión bibliográfica de estudios de evaluación del ciclo de vida de muebles de madera, se presentaron dos estrategias sostenibles: para optimizar el sistema de transporte y el uso de alternativas de materias primas durante la fabricación de MDP. También se analizaron tres escenarios para la producción del aglomerado de densidad media con las alternativas de utilizar madera reciclada como materia prima en lugar de madera virgen, los resultados mostraron que el uso 100% de residuos de madera fue más sostenible porque no había una minimización de impactos potenciales. Estas conclusiones pueden ayudar la industria de muebles y de paneles de madera a mejorar su perfil ambiental y fomentar la investigación sobre las opciones alternativas para promover la producción más limpia de componentes de muebles con una perspectiva de ciclo de vida.

La información presentada anteriormente nos dan pautas para el establecimiento de la metodología a seguir durante la presente investigación, ya que durante la revisión y el análisis de cada empírico se logra visualizar los diversos enfoques por cada autor para llevar a cabo sus investigaciones; las recomendaciones consideradas son dividir el proceso general en procesos unitarios para facilitar el manejo de datos, así como considerar las categorías de impacto que más se direccionen hacia los objetivos establecidos al inicio del análisis, algunos autores consideraron cinco categorías de impacto según lo recomendado el Product Category Rules, (2011) - *PCR* de Canadá y USA, donde se establecen los requisitos para declaraciones ambientales de productos de madera, así mismo de acuerdo al PCR, se considera evaluar por el método de impacto TRACI 2, ya que integra las categorías de impacto de calentamiento global, acidificación, eutrofización, smog y agotamiento de la capa de ozono.

Existen múltiples software para evaluar el impacto ambiental, sin embargo, la decisión de utilizar el software SimaPro v.8. es debido a que la mayoría de autores utiliza el SimaPro porque considera las bases de datos más amplias como ecoinvent (Europa) y USLCI (USA), cabe notar que el presente estudio tiene limitaciones, como sucede en todos los casos de ACV de países en desarrollo, ya que existen algunos factores como accesibilidad, disponibilidad y calidad de datos los cuales afectan en la precisión de resultados, ya que los datos considerados son de bases de datos que no corresponden a las circunstancias asociadas a los procesos de producción en México. Sin embargo aunque los resultados no sean totalmente en torno a las condiciones locales, los resultados se consideran fiables (Roux et al., 2014).

2.5. A modo de síntesis

El análisis de ciclo de vida es una herramienta de soporte a la toma de decisión en el contexto del pensamiento de ciclo de vida, además de ser una herramienta para la evaluación sistemática de los aspectos ambientales potenciales de un sistema, producto o servicio a través de todas las etapas de su ciclo de vida, se rige bajo los estándares del ISO 14000 y 14040 (2006). Las fases en las que se divide el análisis de ciclo de vida son: Definición de objetivo y el alcance de estudio, análisis del inventario, evaluación de impacto y finalmente la interpretación de resultados. El tipo de detalle de cada ACV depende del objetivo a cubrir, diferenciando en tres tipos el ACV: Conceptual, simplificado y completo (EUROPEN, 2005; ISO 14044, 2006).

Se resumen algunos empíricos realizados en los últimos diez años sobre análisis de ciclo de vida en productos de madera, desde madera aserrada, productos o muebles, hasta tableros estructurales para la construcción y para muebles, se identifican los criterios establecidos para cada análisis, los métodos de impacto considerados, así como las categorías de impacto seleccionadas.

Con respecto a la revisión de empíricos surgen las pautas para el desarrollo de la presente investigación, ya que varios autores han determinado diferentes enfoques en los análisis de ciclo de vida en los cuales la presente investigación se ha basado.

CAPITULO III. CONTEXTO DE LAS EMPRESAS FORESTALES COMUNITARIAS MEXICANAS

En el presente capítulo se presenta el desarrollo histórico que ha tenido el aprovechamiento forestal en México, así como su situación actual y los esquemas de funcionamiento en los últimos tiempos, además de sus indicadores económicos. Se hace un pequeño análisis del sector de la madera y el mueble, considerando su importancia dentro de las actividades económicas de la población, además se presentan los antecedentes sobre el aprovechamiento forestal comunitario y su especial énfasis en el cuidado de los recursos naturales, se describe el contexto de las empresas forestales comunitarias mexicanas y su relación con el aprovechamiento de los bosques.

3.1. El aprovechamiento forestal en México

Los Estados Unidos Mexicanos, se localizan en el norte del continente americano. La superficie territorial de México abarca 1, 964,375 km², de los cuales 1,959, 248 km² son continentales y 5,127 km² son insulares (SEMARNAT-INE, 2009).

Del total de la superficie del territorio nacional, 70% corresponde a vegetación forestal, equivalente a 138 millones de hectáreas. Los principales tipos de formación vegetal forestal que integran esta superficie son los matorrales xerófilos (41.2%), los bosques templados (24.24%), las selvas (21.7%), manglares y otros tipos de asociaciones de vegetación forestal (1.06%) y otras áreas forestales (11.8%)(Presidencia de la República, 2014).

Además de ser uno de los países con mayor diversidad biológica en el mundo, tanto por el alto número de especies como por su diversidad en otros niveles de la variabilidad biológica, como el genético y el de ecosistemas, se estima que en el país se encuentra entre 10 y 12% de las especies existentes en la Tierra. La extraordinaria biodiversidad del país se explica principalmente por la complejidad de su topografía, la variedad de climas y la convergencia de dos zonas biogeográficas: la Neártica y la Neotropical (SEMARNAT-INE, 2006).

Ahora bien, la abundancia y variedad natural está directamente relacionada con la diversidad cultural (Maffi, 2005) ya que cuando una población humana vive y se desarrolla en un ambiente

con alta riqueza y diversidad de recursos naturales, también se genera un mayor número de formas de apropiación de los mismos. Esta situación no es la excepción en México, donde los grupos humanos establecidos aprovecharon la variación de los recursos de sus regiones de diferentes maneras, dando lugar a una gran diversidad cultural (Valdés & Negreros-Castillo 2002).

La conservación de bosques primarios es muy importante para el sector forestal, ya que se posee gran variedad de especies endémicas tanto de animales, plantas y árboles, y el cuidado de sus dimensiones es una de las prioridades debido a que su superficie es del 53% (34,310,000 hectáreas), mientras que la superficie para otros bosques regenerados naturalmente es de 27,289,000 hectáreas (42%) y bosques plantados 3,203,000 hectáreas (5%), y según datos de la FAO, México se encuentra ubicado entre los diez países con mayor cantidad de zonas de bosques primarios y con mayor cantidad de áreas de bosques plantados (FAO, 2010a, 2010b).

Los bosques y selvas en México cubren casi 64.9 millones de hectáreas, donde 15 millones de hectáreas tienen potencial forestal maderable, sin embargo en los últimos 10 años, solo se han aprovechado 8 millones de hectáreas y se han producido en promedio 6.35 millones de m³r, principalmente de pinos, ya que México es uno de los países en el mundo donde existe mayor diversidad de especies de pinos y encinos (Diario Oficial de la Nación, 2014; Sarukhàn et al., 2009; SEMARNAT, 2014).

La producción forestal solo juega un papel menor en la economía mexicana. A principios de los años noventa la producción comercial de madera era poco menos de 1% del PIB nacional; su participación en éste disminuyó en casi 25% desde 1987. Históricamente, las inversiones realizadas por el gobierno en el sector forestal han sido hasta de menos de 4% del presupuesto total destinado para la agricultura. Y según datos del Banco Mundial en 1995, la producción de madera y la industria forestal mexicanas no están consideradas como internacionalmente competitivas porque, «los costos de producción —incluyendo el transporte— son altos, los bosques manejados por comunidades son ineficientes, pocos bosques son manejados de manera activa, y la falta de infraestructura hace que gran parte de la madera sea inaccesible. Sólo 30% de los bosques en seis de los estados de mayor producción de madera son accesibles para cosecharse» (Bray & Merino 2004).

El sector forestal mexicano se especializa en productos de un valor agregado medio-bajo, medio y medio-alto, es decir, son productos que requieren ser sometidos a ciertos procesos industriales, pero sin requerir tecnologías muy avanzadas para su desarrollo, y que van dirigidos a mercados

que no exigen estándares muy altos de especialización y calidad (cajas de cartón, clasificadores o carpetas), de igual manera, los productos como materiales para el sector de la construcción (puertas, molduras, marcos de madera) que requieren un valor agregado medio para su desarrollo (CONAFOR-SEMARNAT, 2005).

Durante el período 2004-2013 la producción forestal maderable ha disminuido de forma constante, iniciando con 6.7 millones de metros cúbicos rollo (m^3r) en 2004 y finalizando este periodo con 5.9 millones de m^3r , lo que significó un decremento del 0.5% (SEMARNAT, 2014).

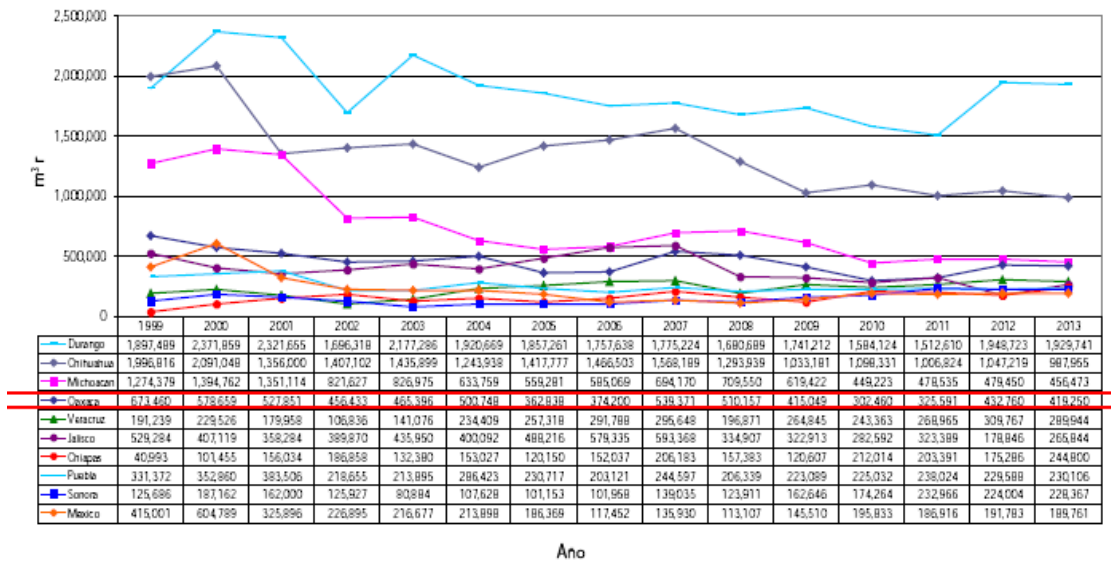
En síntesis podemos decir que México es un país con gran riqueza forestal, además de una gran diversidad lo que debería darle fuerza y resiliencia. Con las casi 65 millones de hectáreas de bosques que cubren la tercera parte del país tienen un fuerte potencial productivo, sin embargo no es totalmente aprovechado, en caso contrario se podría encontrar mercados locales, nacionales e internacionales, con distintas tasas de valor agregado.

3.2. Estados con mayor producción forestal

Bray & Merino (2004), argumentan que sólo 30% de los bosques en seis de los estados de mayor producción de madera son accesibles para cosecharse, esto se refleja en las estadísticas emitidas por la (SEMARNAT, 2014) que indican que durante el año 2013 los estados con mayor producción fueron: Durango (32.80%), Chihuahua (16.79%), Michoacán (7.76%), Oaxaca (7.13%) y Veracruz (4.93%) que contribuyeron con el 69.41% de la producción total, equivalente a 4.4 millones de m^3r (Figura 7), donde los principales productos que se obtuvieron fueron: madera para aserrío (escuadría y durmientes) con el 74.9% de la producción (4.4 millones de m^3r), los combustibles (leña y carbón) con el 11.3% (662 mil m^3r) y el restante 13.8% (813.1 mil m^3r) se destinó a celulósicos, chapa y triplay y postes, pilotes y morillos (Figura 8).

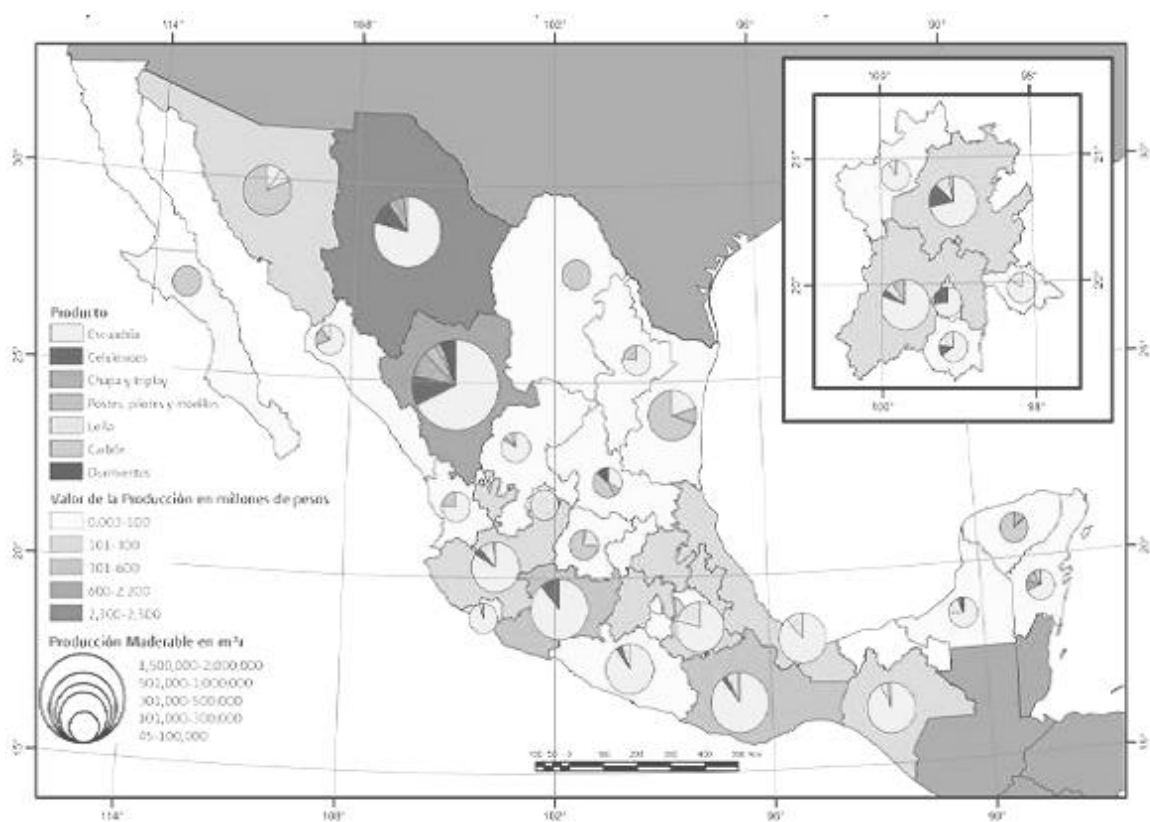
Y los principales géneros aprovechados durante el mismo año fueron: el pino con 4.6 millones de m^3r (79.0%) y el encino con 0.5 millones de m^3r (8.7%), de la producción forestal nacional maderable por género/grupo, las coníferas (pino, oyamel y otras coníferas) contribuyeron con el 82.4%, las latifoliadas (encino y otras latifoliadas) con un 12.2% y las tropicales (preciosas y comunes tropicales) con el 5.4% (SEMARNAT, 2014).

**Figura 7. Principales estados con mayor producción forestal
1999-2013**



Fuente: Tomado de SEMARNAT, (2014)

**Figura 8. Producción forestal maderable por producto,
volumen y valor 2013**

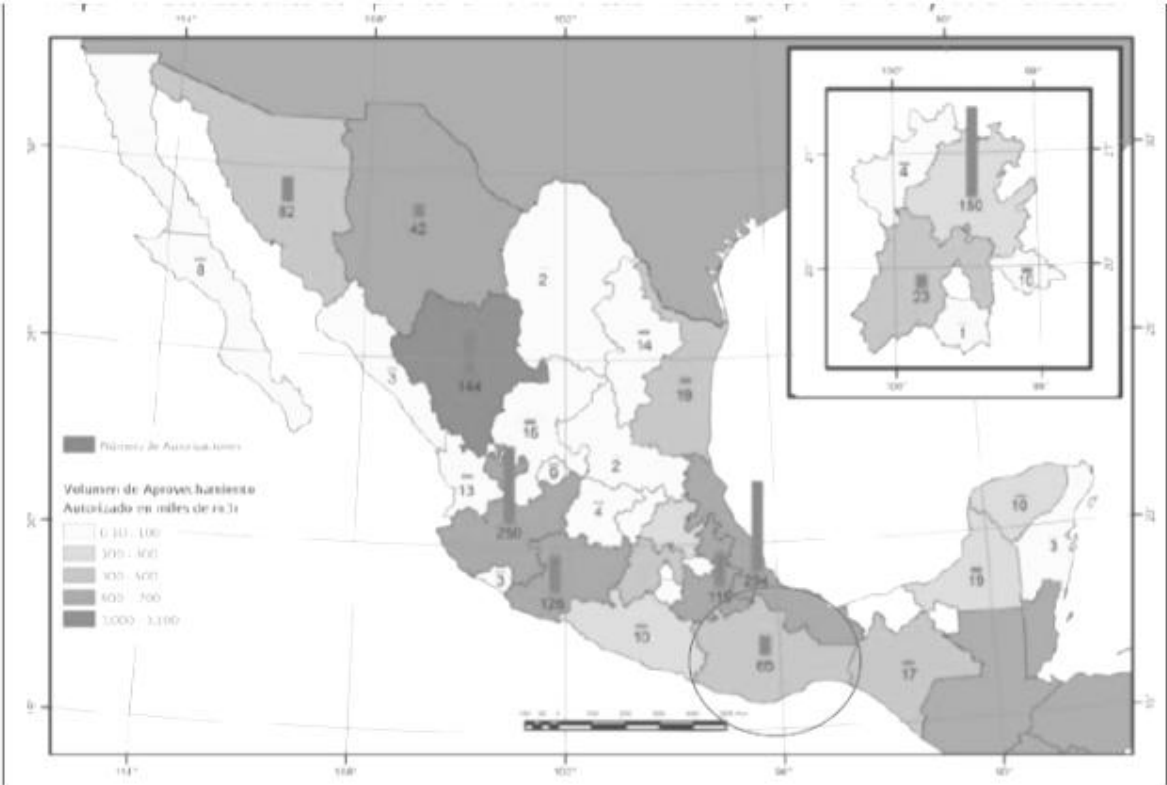


Fuente: Tomado de SEMARNAT, (2014)

Dentro de la producción forestal maderable, los tres géneros para los que se obtuvieron mejores precios medios en el periodo 2009-2013 son: preciosas, pino y otras coníferas. El grupo de las maderas preciosas reporta un precio promedio de \$3,214.43 (177,58€) por m³r, inicia con un precio de \$3,605.84 (199,20€) en 2009 y cierra en 2013 con un registro de \$2,392.57 (132,17€), lo que implica un decremento del precio medio del 33.6%. Le sigue el género pino, que reporta en 2009 un precio de \$1,214.02 (67,06€) por m³r y en 2013 alcanzó un precio de \$1,337.85 (73,91€), lo que equivale a un incremento del 10.2%. Por último, el tercer género corresponde a otras coníferas que presenta un precio promedio de \$1,172.62 (64,78€) por m³r en el período, y que en el año 2012 registró un importante aumento en el precio, en 2009 este género reportó un precio de \$878.74 (48,54€) por m³r, mientras que para el 2013, se obtuvo un precio de \$1,215.76 (67,16€) que representa un incremento del 38.3% con respecto al 2009 (SEMARNAT, 2014).

Con respecto a las autorizaciones otorgadas a nivel nacional en el 2013 se concedieron 1,458 autorizaciones por un volumen total de 8, 996,336 m³r, que corresponden a una superficie de 562,888 hectáreas cubiertos por bosques de coníferas y latifoliadas, donde los estados con mayor autorizaciones fueron Jalisco, Durango, Veracruz, y Puebla (Figura 9).

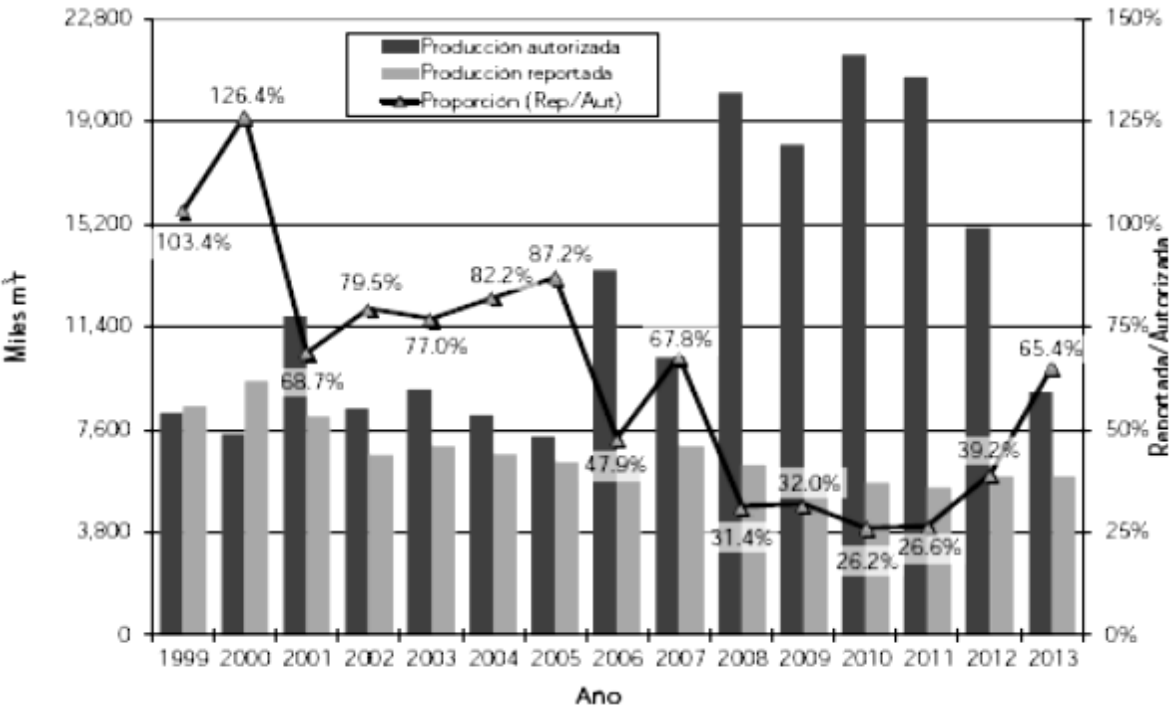
Figura 9. Autorizaciones de aprovechamiento forestal maderable por número y volumen 2013.



Fuente: Tomado de SEMARNAT, (2014)

Si se realiza un análisis de los últimos años (1999-2013), se puede notar que el volumen autorizado es mayor que el reportado como producido, con excepción de los años 1999 y 2000 en los que el volumen reportado fue mayor al autorizado (Figura 10). También se puede apreciar que a partir del 2008 se incrementó notoriamente la producción autorizada con un aumento del 95.1% en relación al año anterior y a partir del 2010 ha descendido gradualmente. Por su parte, la producción reportada presenta en el periodo un descenso del 30.8%. Derivado del decremento en el volumen autorizado en 2013 logra el 65.4% de la producción autorizada en ese año (SEMARNAT, 2014).

Figura 10. Producción forestal maderable reportada/autorizada 1999-2013



Fuente: Tomado de Dirección de Gestión forestal y de suelos (SEMARNAT, 2014)

3.3. Indicadores económicos del sector forestal mexicano

En los cinco últimos años la participación del sector forestal mexicano en la economía nacional ha mantenido constante, obteniendo una aportación promedio de 0.3%; de acuerdo al valor del PIB nacional. Para lo correspondiente al año 2013 se reportaron 37,820 millones de pesos (2.087.813.429,88 €) obteniendo un incremento del 0.5% con respecto al 2012, que fue de 37,624 millones de pesos (2.076.993.455,47€) (Tabla 9) (Presidencia de la República, 2014).

**Tabla 9. Producto interno bruto de los sectores manufacturero, agropecuario y forestal
2009-2013 (Millones pesos constantes a precios de 2008)**

PIB por sector	2009	2010 ^{1/}	2011	2012	2013
Total Nacional ^{1/}	11,680,749	12,272,551	12,761,284	13,244,203	13,425,236
Variación anual %	-4.7%	5.1%	4.0%	3.8%	1.4%
Industrias manufactureras ^{1/}	1,857,907	2,013,327	2,100,831	2,181,937	2,224,839
Variación anual %	-8.4%	8.4%	4.3%	3.9%	2.0%
Industria de la madera ^{1/}	18,315	19,327	20,301	22,525	22,313
Variación anual %	-4.7%	5.5%	5.0%	11.0%	-0.9%
Ind. madera/manufacturero %	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
Fabricación de celulosa, papel y cartón ^{1/}	14,810	14,992	14,631	15,099	15,507
Variación anual %	-0.9%	1.2%	-2.4%	3.2%	2.7%
Prod. papel/manufacturero %	0.8%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
Agropecuario, silvicultura y pesca ^{1/}	383,159	385,260	376,326	401,195	405,640
Variación anual %	-2.5%	0.5%	-2.3%	6.6%	1.1%
Forestal ^{2/}	33,125	34,319	34,933	37,624	37,820
Variación anual %	-3.0%	3.6%	1.8%	7.7%	0.5%
Forestal/nacional %	0.28%	0.28%	0.27%	0.28%	0.28%

^{1/} Cifras preliminares a partir de la fecha que se indica

^{1/} Para el periodo 2009-2013 datos provenientes de Cuentas nacionales / Producto interno bruto trimestral / base 2008 / Valores a precios de 2008 (INEGI).

Los valores totales anuales presentados son el resultado del promedio de los trimestres de cada año.

^{2/} PIB Forestal es igual a la suma del PIB de la ind. de la madera y el PIB de la fabricación de pulpa, papel y cartón.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Tomado de Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos (SEMARNAT, 2014)

El saldo de la balanza comercial de productos forestales presenta variaciones en su déficit durante los últimos 5 años, iniciando el período con un déficit total de 4.5 miles de millones de dólares y concluyendo con un déficit de 5.9 miles de millones de dólares (Tabla 10). De los conceptos que componen la balanza comercial, el de productos de papel es el que tiene una mayor participación a nivel general, siendo en el rubro de importaciones donde presenta los valores más altos y como consecuencia es el que aporta el mayor déficit al saldo final (SEMARNAT, 2014).

Tabla 10. Balanza comercial de productos forestales de México 1999-2013

(valor en miles de dólares)

Año	Concepto	Exportaciones	Importaciones	Saldo
2009	Productos maderables	299,080	996,434	-697,354
	Productos celulósicos	28,884	812,680	-783,796
	Productos de papel	920,719	3,957,766	-3,037,048
	Total	1,248,682	5,766,880	-4,518,198
2010	Productos maderables	289,458	1,197,063	-907,606
	Productos celulósicos	56,973	1,166,360	-1,109,387
	Productos de papel	1,094,488	4,679,886	-3,585,398
	Total	1,440,919	7,043,309	-5,602,390
2011	Productos maderables	299,864	1,264,443	-964,579
	Productos celulósicos	79,432	1,158,705	-1,079,273
	Productos de papel	1,184,310	4,932,046	-3,747,736
	Total	1,563,606	7,355,194	-5,791,588
2012	Productos maderables	343,731	1,370,133	-1,026,401
	Productos celulósicos	76,818	950,994	-874,176
	Productos de papel	1,076,039	4,715,057	-3,639,018
	Total	1,496,588	7,036,184	-5,539,596
2013	Productos maderables	402,872	1,453,461	-1,050,589
	Productos celulósicos	75,500	957,783	-882,283
	Productos de papel	1,351,513	5,338,059	-3,986,547
	Total	1,829,885	7,749,304	-5,919,419

Fuente: Tomado de Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos (SEMARNAT, 2014)

Resumiendo se dice entonces que el país necesita invertir en el sector forestal mexicano, y promover las exportaciones de productos forestales del bosque, para posicionar a México en el mundo como un país forestal y que además hace un aprovechamiento sustentable de sus bosques. Ya que como se puede ver el consumo de productos forestal es superior a la cantidad producida, generando un enorme déficit de la balanza comercial, confirmando al mismo tiempo la crisis del sector donde se puede notar la gran cantidad de madera ilegal que se produce en el país y el reconocimiento de que solo se aprovecha la mitad de la superficie arbolada con potencial productivo maderable.

3.4. El sector de madera y el mueble en México

La industria de la madera y mueble es parte de la estructura productiva del sistema foresto-industrial que incluye también a los sectores de papel y celulosa, leña y carbón vegetal. Las actividades de industrialización de materias primas comprenden de la extracción de productos forestales que son categorizados como productos forestales maderables (PFM) y no maderables (PFNM), el primero está constituido por materiales leñosos, y el segundo por semillas, resinas, fibras, ceras, etc. (Figura 11). La producción primaria de PFM inicia con el aprovechamiento que básicamente es la extracción de arboles en pie para después ser enviados a su segunda transformación que suele ser el aserrío (escuadría, celulosa, triplay y demás productos maderables), la industria del mueble implica un tercer proceso de transformación que crea productos de mayor valor agregado (Vega & Flores, 2011)

Figura 11. Categoría de PFM y PFNM del sector forestal en México



*Se incluye: Hongos, semillas, hojas, nopal, frutas, musgo, hena y demás.

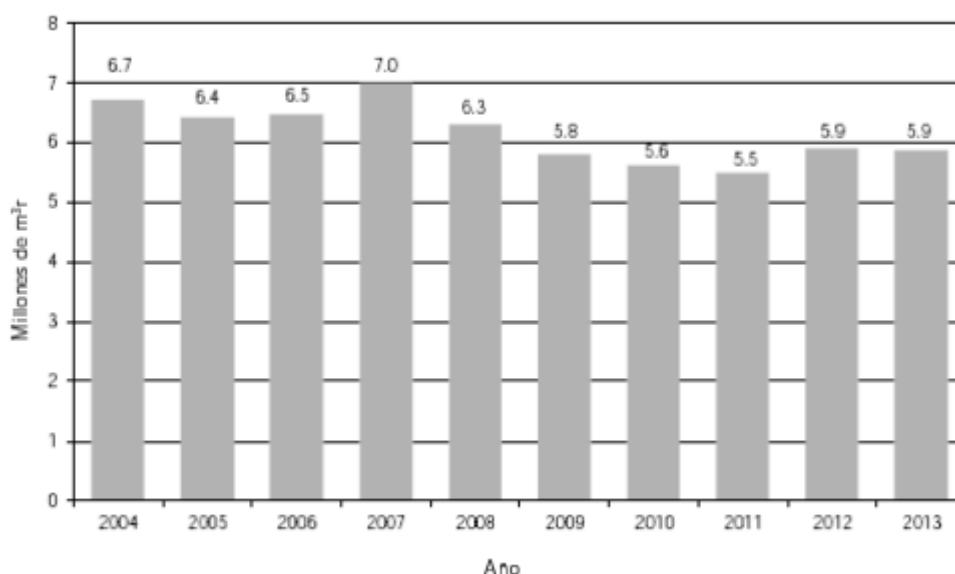
Fuente: Elaboración propia en base a Gerez y Purata (2008)

Las maderas aprovechadas por el sector forestal son clasificadas por género y/o grupo donde se desglosa a la producción en función de sus características biológicas y por tipo de producto en el cual se presenta la producción de acuerdo al fin que esta tiene por género y/o grupo (SEMARNAT, 2014):

- Pino
- Oyamel
- Otras coníferas
- Encino
- Otras latifoliadas
- Preciosas
- Comunes tropicales

Con respecto a la producción de la industria de madera, ha disminuido de forma constante durante el período 2004-2013, iniciando con 6.7 millones de metros cúbicos rollo (m^3r) en 2004 y finalizando este periodo con 5.9 millones de m^3r . Desde inicios de esta década la disminución ha sido continua, con excepción de los años 2006, 2007 y 2012 en los cuales la producción alcanzó un aumento, reportando 6.5, 7.0, y 5.9 millones de m^3r respectivamente, lo que representa un incremento del 0.9%, 7.8% y del 7.4% en relación al año anterior. Para 2013, la producción forestal maderable se mantuvo prácticamente estable en relación al año anterior con 5.88 millones de m^3r lo que significó un decremento del 0.5% (Figura 12) (SEMARNAT, 2014).

Figura 12. Producción forestal maderable 2004-2013



Fuente: Tomado de Dirección de Gestión forestal y de suelos (SEMARNAT, 2014)

Los principales productos en el último censo de 2013 publicados por la SEMARNAT (2014), fueron: la madera para aserrío (escuadría y durmientes) con el 74.9% de la producción (4.4 millones de m³r), los combustibles (leña y carbón) con el 11.3% (662.0 mil m³r) y el restante 13.8% (813.1 mil m³r) se destinó a celulósicos, chapa y triplay y postes, pilotes y morillos. La producción de aserrío se encuentra en primer lugar, donde los estados de Durango y Chihuahua son los principales productores, el segundo lugar se encuentra representado por la producción de combustible (leña y carbón), y la producción de celulosa se encuentra en tercer lugar.

Los principales consumidores de madera aserrada en el país son:

- Empresas muebleras.
- Empresas de construcción (obra negra).
- Empresas que producen productos de obra blanca como puertas, cocinas integrales, closets, lambrines, duelas, y cancelos.
- Empresas que producen cajas o tarimas de madera.
- Carpinterías.
- Otros consumidores de madera aserrada (productores de marcos para cuadros espejos, productores de carretes y los productores de mangos de herramientas)

En lo que corresponde al volumen de las exportaciones de madera y sus manufacturas durante el 2013, ascendieron a 1,803.4 miles de m³r, contra importaciones por un volumen de 11,963.3 miles de m³r, teniendo un déficit equivalente a 10,159.9 miles de m³r.

Los principales productos exportados fueron: madera aserrada, combustibles (carbón vegetal y leña), listones y molduras, cajas y paletas, los cuales en su conjunto representaron un volumen de 1,610.2 miles de m³r, equivalente al 89.3% del volumen total de las exportaciones de productos de madera. Los principales productos importados fueron: madera aserrada, chapas de madera, listones y molduras y tableros de fibra, con un volumen global de 10,941.1 miles de m³r, que equivalen al 91.5% del total de las importaciones de productos de madera (Tabla 11).

Uno de los indicadores del sector forestal que el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS) ha monitoreado continuamente es la balanza comercial sectorial, que refleja la crisis por la que enfrenta el sector (Figura 13). Ya que el crecimiento de la demanda ha sido cubierto principalmente por importaciones de Estados Unidos y Chile, y por madera ilegal, que de acuerdo a las últimas cifras oficiales, provee 30% del consumo interno de madera y es responsable del 8% de la deforestación del país (CCMSS, 2014).

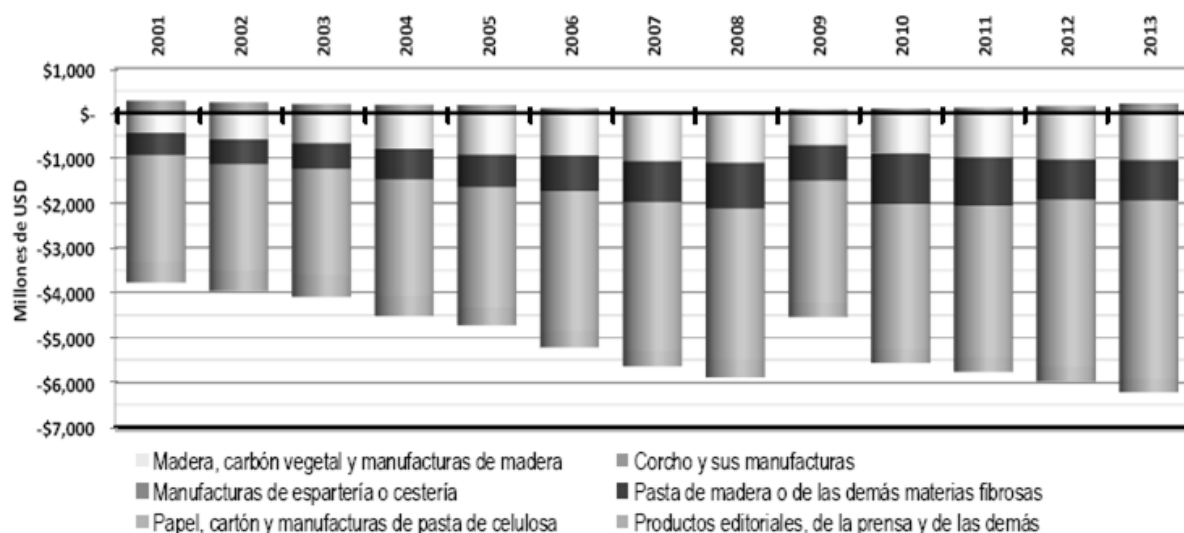
Tabla 11. Exportaciones e importaciones de productos forestales 2013

Descripción	Exportación	Importación	Saldo
Leña y Carbón vegetal	29,044	1,746	27,298
Madera en rollo, postes	17,355	8,381	8,975
Flejes de madera	292	2,194	-1,902
Lana y harina de madera	3	1,768	-1,765
Durmientes	251	16,081	-15,830
Madera aserrada*	15,554	504,316	-488,761
Chapas de madera	2,667	67,660	-64,994
Listones y molduras	77,055	92,637	-15,583
Tableros Aglomerados	29,451	66,715	-37,264
Tableros de fibra	1,769	237,524	-235,756
Tableros contrachapados	4,109	282,213	-278,104
Madera densificada	194	4,586	-4,392
Marcos para cuadros	9,835	4,827	5,007
Cajas y paletas	36,771	37,697	-926
Barriles, cubas, duelas	1,905	5,490	-3,586
Herramientas, mangos p/escobas	2,055	17,860	-15,805
Ventanas, puertas, tableros celulares	45,901	51,366	-5,464
Artículos de mesa y cocina	1,168	5,738	-4,569
Marquetería y taracea	4,555	9,361	-4,805
Los demás de manufacturas de madera	122,938	35,300	87,637
Subtotal de productos de madera	402,872	1,453,461	-1,050,589
Celulosa y fibras secundarias	75,500	957,783	-882,283
Productos de papel	1,351,513	5,338,059	-3,986,547
Subtotal de celulosa y papel	1,427,013	6,295,843	-4,868,830
Total	1,829,885	7,749,304	-5,919,419

Fuente: Tomado de la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos SEMARNAT (2014)

Figura 13. Déficit de la balanza comercial forestal 2001-2013

(Millones de dólares)



Fuente: CCMSS con información de Trade Map, 2014.

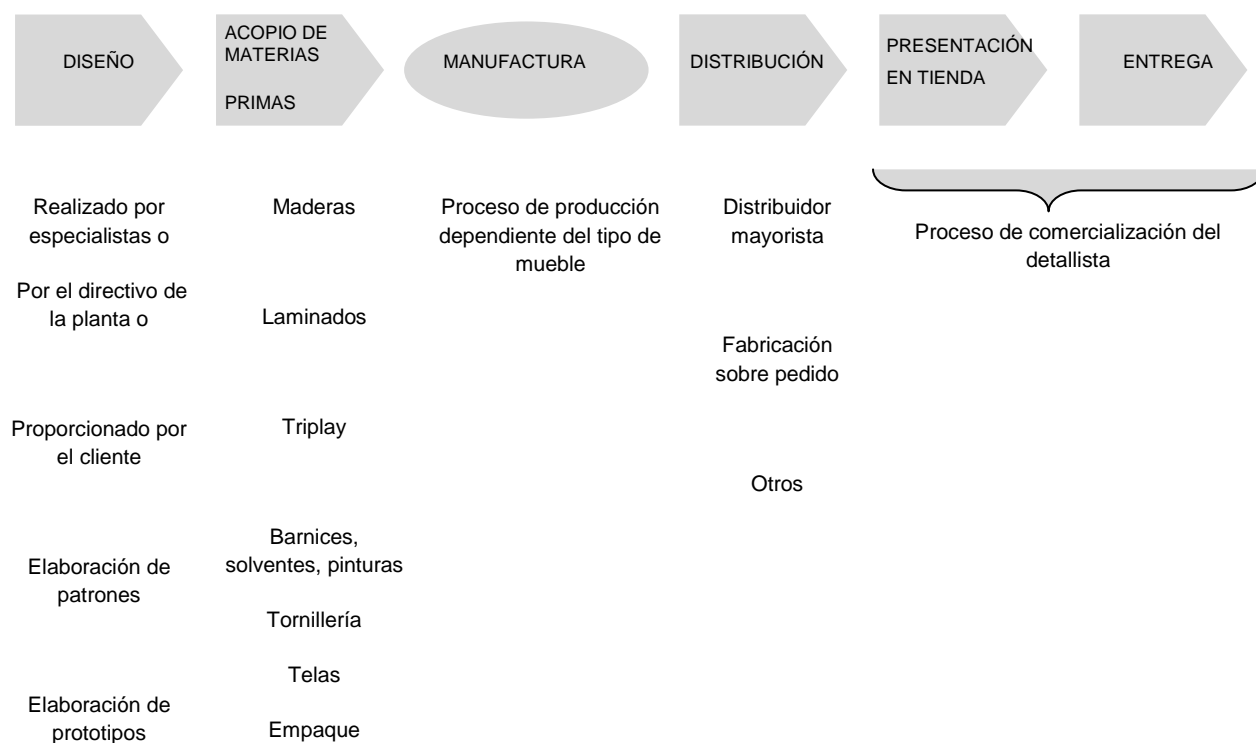
Fuente: Tomado de CCMSS, (2014)

Un análisis que hace (Merino et al., 2008) sobre el sector, muestra que la mayoría de estas industrias son pequeñas y obtienen una producción promedio diaria de menos de 20 mil pies tabla (94 m³r), con un coeficiente de aserrío promedio de poco menos de 60%. Además que esta industria trabaja únicamente durante algunos meses del año y que la mayor parte de la producción de madera aserrada se vende sin estufar, ya sea verde o secada al aire.

En términos generales, la oferta del recurso forestal de México no satisface la demanda para la madera y productos elaborados a partir de la madera. Existe un mayor potencial de oferta, pero hace falta poner mayores áreas bajo manejo y desarrollar la infraestructura vial para facilitar el transporte de la madera destinada a ser procesada y comercializada. La producción de los bosques naturales es baja. La competencia de madera barata y de buena calidad proveniente de Chile y Brasil es fuerte y hay que contar con las importaciones de los Estados Unidos y Canadá (Merino et al., 2008).

Con respecto a la industria del mueble en México se ubica en el sector secundario de la economía, en las clases de actividad: fabricación y reparación de muebles principalmente de madera, fabricación de partes y piezas para muebles y fabricación y reparación de muebles metálicos. Su estructura operativa sigue una orden de seis pasos centrada en la manufactura con actividades previas de diseño y acopio de mercancías que incorporan los conocimientos del mercado, clientes, proveedores y calidades de los insumos; y actividades a posteriori que implican en sí el proceso de comercialización (Figura 14) (Vega & Flores, 2011).

Figura 14. Estructura operativa de la industria del mueble en México



Fuente: Tomado de Vega López & Flores Ortiz,(2011) según Camelot,(2005)

Los insumos o materias primas que se consumen en el sector del mueble son: madera, aglomerados, chapas, laminados, tableros de fibra de densidad media, tableros contrachapados, triplay y vidrio; herrajes (bisagras, correderas, jaladeras, pernos), láminas de acero y tornillería; barnices, solventes, lacas (selladores y tintas) y adhesivos, telas y otros materiales auxiliares. Del total de producción nacional de madera el 80% aproximadamente se destina al sector de muebles, dentro de los cuales los tableros nacionales representan el 1.16% de la producción (Lozano, 2011).

La industria del mueble tiene una fuerte tradición familiar con poca resistencia al cambio y estilo predominantemente artesanal, sin embargo para mantenerse en el mercado nacional y estar en condiciones de competir internacionalmente, ha tenido que adaptar sus procesos a partir de la apertura comercial, donde la fuerte competencia con los muebles importados provocó que las empresas utilizarán sus capacidades instaladas en menor medida y que unido a la caída del mercado doméstico, obligó a que un número mayor de empresas se introdujeran en los mercados internacionales (Lozano, 2011; Vega & Flores, 2011)

Existen en el país alrededor de 300 establecimientos dedicados al ensamblaje de muebles, siendo el tercero en importancia dentro del total de establecimiento de la industria maquiladora de exportación, precedido por textiles y eléctricos. Al mismo tiempo ocupa el cuarto lugar a la generación de empleos dentro de la industria maquiladora de exportación (Vega & Flores, 2011).

Datos de Bancomex señalan que la industria del mueble está conformada por 19 mil 376 empresas, de las cuales el 95% se dedica a la producción de muebles de madera, el resto a la manufactura de piezas metálicas y otros materiales. El tamaño de las empresas detectadas por el banco contempla una participación de 86% de parte pequeñas empresas, 10.8% de medianas y 2.3% de grandes, también señala que el sector enfrenta una recesión, pérdidas importantes de empleos y reducciones en exportaciones de muebles (Vega & Flores, 2011).

La producción de muebles se concentra en diez entidades del país: Jalisco (16%), Distrito Federal (11%), Nuevo León (8%), Estado de México (7%), Chihuahua (7%), Baja California Norte (5%), Puebla (4%), Coahuila (3%), Michoacán (1%) y San Luis Potosí (ITESM, 2005). La principal materia prima utilizada en la fabricación de muebles es la madera, de la cual aproximadamente 70% es nacional y 30% se importa (Merino et al., 2008).

Resumiendo podemos decir que la industria del mueble en México se caracteriza por mantener diversas estructuras productivas y un bajo porcentaje de los fabricantes exportadores de muebles, además de:

- El espacio económico central de la mayor parte de las empresas es el mercado local
- La industria de la madera y mueble está conformada en su mayoría por pequeñas y medianas empresas a excepción de unos pocos grandes aserraderos orientados a la primera y segunda transformación
- En el mercado local se produce un cambio en las preferencias de los productos
- Existe competencia local, nacional y se incrementa por los productos importados

El sector del mueble debe buscar elevar la capacidad de su fuerza trabajo, la eficiencia de sus procesos productivos, crear programas de comercialización que generen cadenas eficientes para lograr ventajas competitivas en mercado exigentes.

3.5. Antecedentes sobre al aprovechamiento forestal comunitario en México

Los recursos de uso común han sido objeto de estudio de científicos sociales desde hace ya varios siglos. En los años ochenta y noventa, durante el auge de la corriente económica neoliberal y su preocupación por la supuesta imposibilidad de las personas a cooperar para manejar los bienes comunes de manera sustentable, se incrementó notablemente el debate sobre la pertinencia de la propiedad colectiva (Madrid et al., 2009).

Desde esta corriente, algunos economistas ambientales, basándose en varias metáforas de elección racional, han sostenido que los recursos de uso común están destinados a terminar en una tragedia donde la sobreexplotación acabe con el recurso y devengan una serie de problemas ambientales, sociales y económicos (Hardin, 1968). Sin embargo, el análisis empírico de la realidad en diversos países ha demostrado la debilidad de esta teoría; no obstante, la tendencia principal en muchas regiones ha sido inhibir la posibilidad del manejo colectivo a través de la privatización o la nacionalización y ha encontrado que los recursos de uso común, en innumerables casos, han sido manejados de manera sustentable, brindando diversos beneficios sociales, económicos y ambientales a la población mundial y especialmente a los grupos más vulnerables de la sociedad (Madrid et al., 2009).

En México como resultado de la revolución y la reforma agraria, se promovió entre 1917 y 1984 que los bosques y las áreas silvestres se entregaran a ejidos y comunidades para que los poseyeran y usufructuaran de manera colectiva (Madrid et al., 2009).

El término bosque comunitario en México se refiere a la posesión de derechos de uso sobre una extensión territorial y sus recursos naturales (agua, aire, tierra, bosques) que tiene una comunidad o grupo de personas bajo acuerdos establecidos por el mismo grupo y que pueden realizar porque en colectivo son dueños de un territorio (Bray & Merino, 2004; Gerez & Purata, 2008).

Los bosques comunitarios existentes implican dos categorías de propiedad colectiva. La primera, conocida como régimen comunal, compuesta por comunidades agrarias prehispánicas, y cuyos orígenes se remontan a antes de la reforma agraria. La segunda, conocida como régimen ejidal, resultado de la reforma agraria (Bray & Merino, 2004). De acuerdo con los resultados del IX censo ejidal 2007, existen en el país 31,518 ejidos y comunidades agrarias que poseen en conjunto 105 millones de hectáreas que pertenecen a 5.6 millones de ejidatarios y comuneros (Robles & Ruiz, 2012).

Cabe destacar que gran parte de la biodiversidad de estos bosques se encuentra en buen estado de conservación esto podría ser que a través de su historia las culturas autóctonas han aprendido a valorar sus recursos y a han desarrollado prácticas de manejo y aprovechamiento sustentables para sus bosques y selvas; e incluso han promovido una mayor biodiversidad al proteger y domesticar especies salvajes vegetales y animales (Maffi, 2005).

Sarukhàn et al., (2009) argumenta que las culturas que existen y han existido en territorio mexicano han desarrollado una estrecha relación con la diversidad biológica de su entorno, tanto en su cosmovisión como en la manera en que han aprovechado los recursos naturales disponibles. Además de tener evidencia de que la protección que incluye manejo indígena y campesina de los recursos naturales, incluso bajo nuevos esquemas de ordenamiento y uso, han sido relativamente eficientes en varias partes del país.

Como propiedad colectiva, el bosque comunitario se rige por una serie de normas y costumbres que han existido desde antes de la reforma agraria. Estas características consisten en lo siguiente: existe un grupo definido de dueños con derechos y obligaciones de propiedad donde los miembros toman sus decisiones mediante asambleas. Los derechos que se tienen incluyen el derecho de exclusión (excluir a otras personas del uso de la propiedad); el derecho de acceso y uso sobre sus recursos; el derecho de regulación (imponer reglas de uso); el derecho de enajenación (rentar, vender o hipotecar la propiedad) y los derechos de herencia (Bray & Merino, 2004).

En los últimos 20 años de este proceso de repartición de tierras, las comunidades agrarias que poseen importantes áreas con cobertura forestal han logrado consolidar procesos productivos y constituir empresas forestales comunitarias exitosas con medidas que aseguran el mantenimiento de la productividad forestal, la conservación de la biodiversidad y la protección de otros bienes y servicios ambientales de interés público. Estimando así que 2,994 ejidos que poseen superficie forestal tienen su principal fuente de ingresos en las actividades productivas relacionadas con los recursos naturales (Bray & Merino, 2004; Segura et al., 2003).

Algunas de las comunidades forestales más avanzadas han logrado acceder a mercados internacionales más competitivos, y reinvierten las utilidades del aprovechamiento forestal para integrar procesos productivos verticales que han dado mayor valor agregado a sus productos forestales y diversificado el uso de sus recursos en proyectos de inversión (embotellamiento de agua de manantial, ecoturismo comunitario y la producción y comercialización de productos forestales no maderables por ejemplo, hongos, resinas, hojas, flores, etc.) (Segura et al., 2003).

Adicionalmente los bosques comunales y ejidales han sido certificados siguiendo los estándares internacionales del Consejo Mundial de Manejo Forestal (*Forest Stewardship Council*) que de acuerdo al padrón de predios certificados en el ámbito nacional actual comprende 34 predios pertenecientes a ejidos, comunidades y pequeños propietarios, que en el 2011, dentro de los esquemas de auditorías técnicas preventivas y el sistema de certificación internacional fue de 23,887 hectáreas y 592,761 hectáreas, respectivamente. Adicionalmente se encuentra en proceso de certificación una superficie de 889,405 hectáreas, de las cuales 534,493 hectáreas corresponden al esquema de auditoría técnica preventiva, 7,997 hectáreas al esquema de Certificación Nacional bajo la Norma Mexicana (NMX-AA-143-SCFI-2008), y 346,915 hectáreas dentro del sistema internacional de certificación (Presidencia de la República, 2011; Sarukhàn et al., 2009)

El volumen de madera certificada representa ya el 10% de la producción maderable a nivel nacional. Estas experiencias revelan el potencial de la gestión comunitaria de los bosques, no sólo para conservación de los recursos, sino también en su aportación a la gobernabilidad de regiones caracterizadas por su marginalidad y aislamiento (Merino & Segura, 2002).

Si bien la tenencia comunal ha sido un factor estructural importante que ha brindado oportunidades para detonar procesos de autogestión y desarrollo rural que contribuyen a la sustentabilidad y conservación de los bosques, es claro que esta condición no resulta en sí misma suficiente. Las comunidades que han tenido éxito en este proceso han basado su desarrollo en el fortalecimiento de estructuras de gobernabilidad tradicionales creando capacidades de auto regulación y organización que responden a esfuerzos externos de organización (Fox, 1995). Otro elemento importante en este proceso ha sido la necesidad de que las instituciones externas, sociales y de gobierno, se articulen con las instituciones comunitarias locales propiciando el desarrollo conjunto de estrategias basadas en el uso forestal del suelo y la valoración económica y social de los bosques (Merino & Segura, 2002).

El modelo de desarrollo comunitario sustentable toma sus fundamentos del desarrollo endógeno sustentable; concibe el crecimiento económico de las comunidades de abajo hacia arriba con énfasis en la autosuficiencia alimentaria, la participación popular, la autonomía y la diversificación productiva, asociado a la integridad de los recursos naturales, el respeto a la cultura, las costumbres y las tradiciones de los pueblos con bases sólidas en los principios de la economía solidaria como autonomía, cooperación y solidaridad (Hernández & Regino, 2010).

En resumen se podría decir que durante los últimos 30 años las comunidades mexicanas han llevado a cabo la producción comercial de madera en bosques de propiedad comunitaria, un logro que tiene raíces profundas en la historia del siglo XX, además que el desarrollo de las EFC son resultado de un largo proceso de aproximaciones sucesivas y paulatinas de apropiación, cada vez más real y efectivo, del control de los recursos forestales colectivos. Las políticas de desarrollo sectorial han influido y contribuido —en algunas ocasiones de manera indirecta y un tanto azarosa, y en otras de modo intencional y estratégico— a la presencia de estos nuevos actores del desarrollo rural (Bray et al., 2007).

3.6. Origen del manejo comunitario

El artículo 27 de la Constitución de 1917 otorgó la propiedad plena de las tierras y aguas a la nación, dando el dominio de las tierras a los ejidos y las comunidades agrarias. Esto permitió que en la década de los cuarenta el gobierno federal mexicano tuviese la posibilidad de establecer concesiones forestales a empresas privadas para el aprovechamiento de los recursos forestales con la intención de crear una fuerte industria forestal como parte de la política nacional de desarrollo y en respuesta a la creencia de que la agricultura de subsistencia y el consumo de productos forestales eran las principales causas del deterioro forestal. Este tipo de permisos, llamados concesiones, tenían una duración de 25 o 50 años dependiendo de la región (Gerez & Purata, 2008; Merino-Pérez & Segura-Warnholtz, 2007).

Durante las concesiones forestales, las empresas privadas se hacían cargo de toda la actividad:

Traían a sus propios trabajadores para construir los caminos y extraer la madera, rara vez daban trabajo a los habitantes locales y pagaban muy poco por la madera que se llevaban, o pagaban solo lo que se llamaba derecho de monte sin embargo los pagos no se entregaban a las comunidades, se depositaban en un fondo manejado por la dirección agraria, al que las comunidades solo podían acceder previa presentación de proyectos productivos y de su aprobación por parte de esa dependencia (Merino-Pérez & Segura-Warnholtz, 2007). Esta forma de aprovechar los bosques dejó algunos beneficios en las comunidades, como construcción de redes de caminos, desarrollo de capacidades locales para el desempeño de las actividades relacionadas con la extracción forestal y el procesamiento industrial, sin embargo a los dueños de los bosques no se les permitía participar directamente en la actividad forestal. Además, como el interés de las empresas concesionarias era sacar el máximo provecho, cortaban los mejores

árboles, se llevaban las mejores trozas, causaban mucho daño al arbolado y dejaban gran cantidad de troncos y ramas en el suelo favoreciendo grandes incendios (Gerez & Purata, 2008).

Poco a poco, los miembros de las comunidades afectadas adquirieron conciencia del valor comercial del bosque y de la importancia de lograr el control de su uso y manejo además de que las empresas concesionarias causaban mucho daño a los bosques y no se preocupaban por mejorarlos. Con el paso del tiempo algunos pobladores aprendieron a cubicar, para calcular cuánta madera salía y así descubrieron que los concesionarios pagaban menos volumen del que sacaban. Todo esto los llevó a solicitar al gobierno que detuviera las concesiones y que les permitiera a ellos mismos vender su madera, para obtener beneficios directos, cuidar del bosque y promover el desarrollo de sus pueblos (Gerez & Purata, 2008; Merino-Pérez & Segura-Warnholtz, 2007).

En respuesta a estas protestas, el gobierno implementó distintas estrategias en primer término reactivó el reparto agrario. Este proceso no fue fácil, pues los dueños de las empresas concesionarias no aceptaban que los campesinos se involucraran en un trabajo controlado hasta entonces solo por ellos. Sin embargo, los dueños de los bosques se organizaron, evitando que las concesiones se renovaran y lograron que el gobierno federal les diera permisos de aprovechamiento forestal (Gerez & Purata, 2008).

Para los dueños del bosque fue realmente difícil acceder a los financiamiento otorgados por el gobierno, además de las múltiples leyes forestales que mantenían un alto nivel de exigencia y requerimientos para acceder al aprovechamiento de los bosques, ya que cumplir con estas demandas implicaba la contratación de profesionales forestales, cuyos salarios estaban por fuera del alcance de las comunidades y de las familias campesinas. La ley no distinguía entre los usos campesinos e industriales, ni siquiera cuando era obvio que solo las empresas concesionarias tenían capacidad de cumplir con los numerosos y complejos requisitos que imponía la legislación (Klooster, 1996).

Durante la segunda mitad de los años setenta un grupo progresista de funcionarios creó la Dirección General de Desarrollo Forestal (DGDF), que buscaba promover el establecimiento de las empresas forestales comunitarias; esta propuesta de manejo forestal comunitario chocó de inicio con la oposición de comerciantes de madera, ingenieros forestales y funcionarios de gobierno, quienes tenían vínculos con las empresas concesionarias paraestatales y a pesar de eso los primeros intentos por crear ECF autónomas se llevaron a cabo en regiones que habían estado sujetas a vedas forestales: en Puebla, Hidalgo, Veracruz; Tlaxcala y el estado de México. El

desarrollo de estas empresas se vio limitado por la falta de asistencia técnica y de capacitación, el acceso restringido a la maquinaria adecuada, el deterioro de los bosques y el control de los mercados de madera por parte de los contratistas (Bray et al., 2003; Merino-Pérez & Segura-Warnholtz, 2007).

Sin embargo el apoyo a este nuevo tipo de organizaciones surgió en 1997 cuando se creó el Programa de Desarrollo de Plantas comerciales (PRODEPLAN) y el Programa de Desarrollo Forestal (PRODEFOR). El primer programa tuvo como objetivo desarrollar proyectos productivos, y el segundo para fomentar el uso sostenible de los ecosistemas naturales. La Dirección de Conservación y Sostenible de los Recursos Forestales fue creado en 2001 (PROCYMAF), con el objetivo de promover el fortalecimiento de las organizaciones ejidales y comunitarias, así como la construcción y operación de las EFC. En 2009, el programa aumentó su presupuesto para una mayor atención a las comunidades; durante esta segunda etapa se creó el marco para construir el tipo de EFC en función del nivel de sus capacidades organizativas para la gestión de los recursos naturales, la capitalización y el nivel de integración vertical en la cadena de producción forestal (Regino et al., 2015).

3.7. Las empresas forestales comunitarias mexicanas

México constituye un caso inusual en el universo de la propiedad comunal. Cuenta con una gran riqueza de formas indígenas de manejo de propiedad comunal. Las formas actuales de propiedad y manejo comunitario se mantienen gracias a que se han retomado las formas tradicionales (Bray & Merino, 2004).

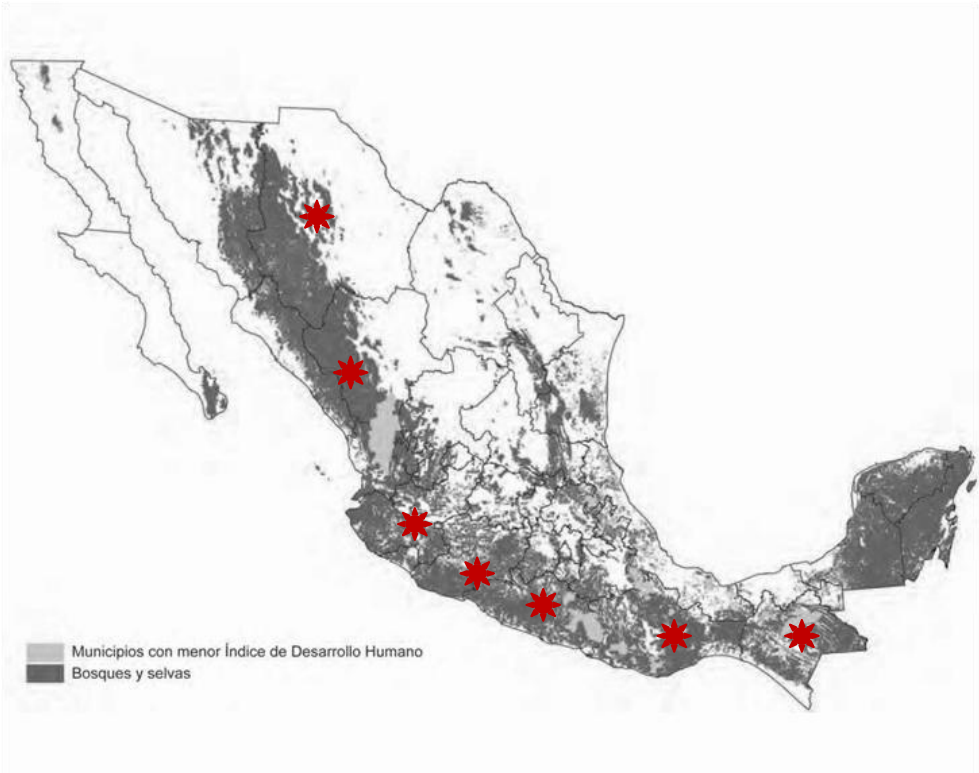
Como se ha mencionado anteriormente gran cantidad de los bosques en México son controlados por los ejidos y las comunidades indígenas, quienes están conformados generalmente por campesinos que poseen las áreas forestales de manera colectiva y desarrollan distintas actividades productivas dentro y alrededor del bosque, logrando así un manejo comunitario del mismo.

La propiedad de régimen comunal es la compuesta por comunidades agrarias prehispánicas, y cuyos orígenes se remontan a antes de la reforma agraria y la propiedad conocida como régimen ejidal, resultado de la reforma agraria (Bray & Merino, 2004).

A partir de 1986 los ejidatarios y comuneros lograron que la ley forestal estableciera legalmente los regímenes de propiedad comunal y ejidal. En el marco de esa ley, las comunidades indígenas y ejidos dueños de bosques tuvieron de forma exclusiva la capacidad legal para tramitar sus propios permisos de aprovechamiento forestal. Se formaron así múltiples empresas forestales campesinas que en los últimos años han logrado poner en función sus propios programas de extracción y en algunos casos de industrialización, de esta manera surgen las empresas forestales comunitarias (Merino, 1997).

Esta transformación de los ejidatarios y comuneros, de productores agrícolas de autoconsumo a empresarios silvicultores, no ha sido una cuestión simple y solamente un grupo de comunidades indígenas y ejidos han logrado consolidar sus proyectos forestales, incorporando actualmente la certificación de sus propiedades. Se calcula que la mayoría de ejidos y comunidades indígenas que cuentan con recursos forestales, se encuentran en siete estados de la República: Durango, Chihuahua, Oaxaca, Michoacán, Guerrero, Jalisco y Chiapas (Figura 15), (Merino, 1997).

Figura 15. Estados donde la mayor parte de la propiedad de bosques pertenece a ejidos y comunidades indígenas



Fuente: Tomado de CONAFOR (2012)

Es así que en México, el Artículo 27 de la Constitución y la Ley Agraria, establecen que los bosques de los ejidos y de las comunidades indígenas mantendrán su carácter colectivo, por lo que no se autoriza su división para venderlos, ni para transformarlos en cultivos o en pastizales ganaderos. Este precepto jurídico, existente desde hace casi 100 años, ha sido el respaldo de las comunidades locales para asumir la propiedad de sus bosques e involucrarse en su manejo (Gerez & Purata, 2008).

Una EFC pertenece a una comunidad o ejido y se opera a través de miembros elegidos mediante asambleas. Los miembros elegidos pueden permanecer en el puesto durante periodos de un año, dos, o más; este tiempo depende de la comunidad o ejido donde radiquen. La EFC debe poseer parcelas forestales, con autorización de extracción (Bray & Merino, 2004). Como toda empresa establecida, una EFC debe al menos satisfacer los siguientes requisitos: contar con una buena organización de las personas que trabajan en el bosque y llevar una administración y contabilidad ordenada y transparente del dinero obtenido por la venta de productos forestales (Gerez & Purata, 2008).

La EFC es una empresa basada en la propiedad colectiva o el acceso seguro a los recursos forestales por una comunidad, con la gobernabilidad derivada o influenciada por las tradiciones de la comunidad local, donde las tensiones entre control comunitario democrático y la estructura de gestión jerárquica están presentes, la cual típicamente tienen múltiples funciones, donde las utilidades son uno de muchos otros objetivos (Antinori & Bray, 2005).

Clay (2002), define a la EFC como una empresa manejada principalmente por comunidades indígenas, que buscan generar utilidades como medio para mantener el desarrollo comunitario social y ambiental de los bosques, manteniendo su participación en actividades de producción, procesamiento, comercio de madera y productos forestales, dirigidas por planes de manejo forestal.

Según Molnar et al., (2007) la EFC proporciona un modelo alternativo de desarrollo que puede acarrear grandes beneficios a las comunidades rurales, incorporando el valor social y cultural de estas. Este modelo brinda otro enfoque al manejo de los recursos naturales, anexando a lo económico el manejo sustentable de la biodiversidad, valores de subsistencia, maximización de oportunidades de empleo local y atención a la distribución de la riqueza.

Así mismo Molnar et al. (2007) también sostiene que la EFC se ha convertido en una fuente importante de beneficios tanto directos como indirectos para la comunidad, donde se crean ventajas económicas, sociales y ambientales.

El mismo autor menciona algunos de los beneficios directos que se logran con las EFC, como la inversión en edificios escolares y escuelas, fondos de beca, fondos de salud y jubilación, servicios de emergencia, fondos para micro crédito, empleo en nuevas actividades, entrenamiento y generación de habilidades específicas, acceso a productos de subsistencia del bosque como resultado de un mejor manejo e inversión en infraestructura de caminos.

Beneficios sociales indirectos como: la mejora de la autoestima de los miembros de la EFC, crédito mejorado para las familias que buscan financiamiento fuera de la comunidad, formación de capital social en la comunidad, prestigio y apalancamiento político en las estructuras de gobierno local y de provincias, acceso a préstamos y ayudas de donantes. Y además de beneficios ambientales que incluyen frenar la frontera agrícola y menos deforestación, el mejor acceso a abastecimientos de agua, la reducción del riesgo de desastres, mejorar la biodiversidad y la integridad de los recursos del bosque, y el control de la tala ilegal.

Una estrategia de la comunidad es la integración verticales decir, teniendo en cuenta la experiencia de la comunidad en el suministro de materia prima, experiencia colectiva en la organización y el capital natural, la comunidad decide formar la EFC y añade valor al producto, de esa manera la comunidad está involucrada en procesos de transformación y de comercialización que tuvo que desarrollar habilidades técnicas, administrativas y de gestión. Cuyas habilidades evolucionan en la medida que fortalece cada etapa de la cadena de producción. Así, las etapas de la producción se integran verticalmente bajo la coordinación de la firma. La integración vertical se concreta bajo una estructura de gobierno comunal, que define los derechos de propiedad de los recursos naturales. Hasta el punto de asumir que la estrategia de integración vertical de la EFC se basa en el uso y control de los recursos forestales para el control de la cadena de producción, y los recursos financieros. Con base en lo anterior se puede decir que el uso y control de los recursos forestales juegan un papel estratégico en el desempeño de CFE en México (Regino et al., 2015).

La EFC además tiene características institucionales poco usuales que precisan una reconsideración de las teorías de la empresa, los diversos arreglos institucionales que regulan la gestión de los recursos naturales son especialmente importantes en cuanto a la equidad económica y protección del medio ambiente presentes en los espacios con manejo forestal

comunitario. En la siguiente tabla se muestra la diferencia de la EFC mexicana comparadas con otro tipo de empresas forestales, mostrando las características identificadas que son determinadas por la organización comunitaria de la cual deriva la empresa forestal (Tabla 12) (Antinori & Bray, 2005).

Dentro de algunas características identificadas se pueden mencionar que existen los bienes heredados es decir que los miembros pertenecientes a la comunidad, normalmente por nacimiento, pueden ser propietarios, sin embargo no tienen derecho a vender la tierra, pero pueden beneficiarse de los flujos de recursos naturales, tales como alimentos, madera, y otros servicios de los ecosistemas (Regino et al., 2015). En muchos de los casos la EFC no tiene bien definidas acciones para el comercio o la venta pero eso implica que todos los miembros comparten los riesgos por igual, pero aquellos que abandonan la comunidad pierden su derecho a la participación en las ganancias, lo que podría ser un impedimento para salir. En términos de gestión de decisiones y control, existen analogías entre las formas de las empresas privadas, donde las asambleas de accionistas o asambleas generales también pueden tomar decisiones (B. Hernández, 2011).

Tabla 12. Propiedad y control en las organizaciones de producción

Componente Institucional	Forestales privadas no industriales (FPNI)	Empresa convencional	Cooperativas		EFC Mexicanas
			Industrial	Agrícola	
Propietario (s)	Persona u organización	Accionistas, inversores.	Trabajo.	Tierras de propiedad pública, comunitaria ó individual con ventas a empresas propiedad de agricultores.	Miembros oficiales de la comunidad.
Decisión sobre la gestión	Propietario.	Gerentes.	Comité de directivos elegidos por los trabajadores	Comité de directivos elegido por los productores	Comisariado de bienes comunales/Comisariado de bienes ejidales elegidos por los miembros de la comunidad.
Decisión sobre el control	Propietario.	Funcionarios, ejecutivos, accionistas, auditores.	Asamblea General de los trabajadores, los auditores.	Asamblea General de los productores, los auditores.	Asamblea general de miembros de la comunidad local
Sistema jurídico	Uso de la tierra, los impuestos, las leyes ambientales.	Uso de la tierra, derecho corporativo y fiscal	Uso de la tierra, derecho corporativo y fiscal.	Leyes estatales y nacionales de cooperativas.	Ley agraria, forestal, y derecho ambiental
Objetivos, bases o estatutos	Fines de lucro, servicios, productos forestales no maderables, bienes heredados.	Ganancias, retorno de la inversión.	Dividendos por trabajador.	Precio por unidad, el productor y el excedente del consumidor, servicios a los miembros.	Fines de lucro, servicios, productos forestales no maderables, bienes heredados, empleos, bienes y servicios públicos.

Fuente: Tomado de Antinori y Bray (2005).

Las características principales de la EFC pueden resumirse según Hernández, (2011) en: 1) tenencia de la tierra; 2) organización para la producción a partir del sistema de gobernanza; y 3) recursos públicos y comunes.

Para tener una idea general de los niveles de producción, organización, desarrollo y eficiencia en el manejo de los recursos forestales, en la EFC, han propuesto una clasificación de acuerdo al nivel de participación en la cadena de valor de la madera (Tabla 13).

Tabla 13. Clasificación de la EFC mexicanas y comunidades forestales

Tipo	Descripción
I	Productores potenciales: Propietarios y/o poseedores de tierras forestales con capacidad de producción comercial sostenible que actualmente no llevan a cabo ninguna actividad de extracción forestal debido a que carecen de un plan de manejo forestal autorizado o de recursos suficientes para su elaboración.
II (comunidades al tacón)	Productores que venden madera al tacón. Propietarios y/o poseedores de parcelas sujetas a explotación forestal donde la actividad es llevada a cabo por terceras partes a través de contratos comerciales, sin que el propietario o poseedor participe en ninguna de las fases del proceso de extracción, a pesar de que los propietarios / poseedores puedan participar como trabajadores.
III (comunidades de materia prima)	Fase I: grupo de extracción; Fase II: Equipo de extracción. Productores de materias primas forestales: propietarios y/o poseedores de propiedades forestales que llevan a cabo extracciones forestales autorizadas y participan directamente en alguna de las fases de la cadena de producción. Esta categoría contiene dos fases, la fase I, donde la comunidad tiene su propio grupo de extracción (jefe de monte, cubicador, documentador) y la fase II, en la que las comunidades han adquirido equipo de extracción tal como grúas y camiones.
IV (comunidades aserradero)	Productores con capacidad de transformación y comercialización: productores de materias primas forestales que tienen infraestructura para la transformación primaria y llevan a cabo directamente la comercialización de sus productos.
V (comunidades de productos terminados)	Productores de materia prima que tienen aserraderos y otra infraestructura de procesamiento para dar valor agregado a la madera aserrada. Éstas pueden incluir secadoras, fábricas de muebles y molduras, astilladoras, etc.

Fuente: Tomado de Bray, Merino y Barry (2007)

En el cuadro anterior se puede observar los diversos tipos de EFC mexicanas que se han establecido a lo largo del tiempo, manteniendo una estructura organizacional y control de la producción de los recursos naturales, estas EFC en su mayoría se encuentran ubicadas en las zonas rurales de México, y han logrado diferentes tipos de organización, se considera que toda comunidad involucrada en la extracción forestal son EFC. En los niveles más bajos de integración, pueden ser empresas en las que no se mantiene ningún capital operante, en la que todos los beneficios son distribuidos inmediatamente, y que se desintegran completamente entre periodos de aprovechamiento, sin embargo, éstas son operaciones que generan ingresos basados en la propiedad común, en las que se toman decisiones en torno a la producción, incluso si la decisión es delegar por contrato todas sus actividades. Se plantea que puede hablarse de EFC poco capitalizadas y estructuradas o muy capitalizadas y estructuradas, y que la mayoría de estas empresas se encuentran en un nivel intermedio, pero todas ellas son EFC (Bray et al., 2007).

Las EFC aun enfrentan muchos retos tanto en la obtención de apoyos por parte de las autoridades gubernamentales como de los consumidores en general, para comercializar sus productos de manera justa y equitativa. Como resultado de ello, se dan situaciones contrastantes; ya que teniendo un gran nicho de oportunidades para la implementación de actividades de manejo forestal, las comunidades que habitan en las zonas más biodiversas del país, por lo regular son las que viven en mayor pobreza (ITTO, 2005).

3.8. A modo de síntesis

México abarca 1,964,375 km², de los cuales 1,959,248 km² son continentales y 5,127 km² son insulares, del total de la superficie del territorio nacional, 70% corresponde a vegetación forestal, equivalente a 138 millones de hectáreas (SEMARNAT-INE, 2009).

Los bosques y selvas en México cubren casi 64.9 millones de hectáreas, donde 15 millones de hectáreas tienen potencial forestal maderable, sin embargo en los últimos 10 años, solo se han aprovechado 8 millones de hectáreas y se han producido en promedio 6.35 millones de m³r, principalmente de pinos (Diario Oficial de la Nación, 2014; Sarukhàn et al., 2009; SEMARNAT, 2014). Durante el período 2004-2013 la producción forestal maderable ha disminuido de forma constante, iniciando con 6.7 millones de metros cúbicos rollo (m³r) en 2004 y finalizando este periodo con 5.9 millones de m³r, lo que significó un decremento del 0.5% (SEMARNAT, 2014).

En los cinco últimos años la participación del Sector Forestal en la economía nacional ha obteniendo una aportación promedio de 0.3%; de acuerdo al valor del PIB nacional, presentando un déficit durante los últimos 5 años, iniciando el período con un déficit total de 4.5 miles de millones de dólares y concluyendo con un déficit de 5.9 miles de millones de dólares (SEMARNAT, 2014). En el sector de la madera y el mueble según (Merino et al., 2008) la oferta del recurso forestal de México no satisface la demanda para la madera y productos elaborados a partir de la madera ya que existe un mayor potencial de oferta, pero hace falta poner mayores áreas bajo manejo y desarrollar la infraestructura vial para facilitar el transporte de la madera destinada a ser procesada y comercializada.

Los recursos de uso común han sido objeto de estudio de científicos sociales desde hace ya varios siglos. En los años ochenta y noventa, durante el auge de la corriente económica neoliberal y su preocupación por la supuesta imposibilidad de las personas a cooperar para manejar los bienes comunes de manera sustentable, se incrementó notablemente el debate sobre la pertinencia de la propiedad colectiva (Madrid et al., 2009).

El término bosque comunitario en México se refiere a la posesión de derechos de uso sobre una extensión territorial y sus recursos naturales (agua, aire, tierra, bosques) que tiene una comunidad o grupo de personas bajo acuerdos establecidos por el mismo grupo y que pueden realizar porque en colectivo son dueños de un territorio (Bray & Merino, 2004; Gerez & Purata, 2008). En los últimos 20 años las comunidades agrarias que poseen importantes áreas con cobertura forestal han logrado consolidar procesos productivos y constituir empresas forestales

comunitarias (EFC) exitosas con medidas que aseguran el mantenimiento de la productividad forestal, la conservación de la biodiversidad y la protección de otros bienes y servicios ambientales de interés público. Estimando así que 2,994 ejidos que poseen superficie forestal tienen su principal fuente de ingresos en las actividades productivas relacionadas con los recursos naturales (Bray & Merino, 2004; Segura et al., 2003).

La EFC es una empresa basada en la propiedad colectiva o el acceso seguro a los recursos forestales por una comunidad, con la gobernabilidad derivada o influenciada por las tradiciones de la comunidad local, donde las tensiones entre control comunitario democrático y la estructura de gestión jerárquica están presentes, la cual típicamente tienen múltiples funciones, donde las utilidades son uno de muchos otros objetivos (Antinori & Bray, 2005). Los beneficios directos que se logran con las EFC, como la inversión en edificios escolares y escuelas, fondos de beca, fondos de salud y jubilación, servicios de emergencia, fondos para micro crédito, empleo en nuevas actividades, entrenamiento y generación de habilidades específicas, acceso a productos de subsistencia del bosque como resultado de un mejor manejo e inversión en infraestructura de caminos (Molnar et al., 2007).

Las EFC tienen características institucionales poco usuales que precisan una reconsideración de las teorías de la empresa, los diversos arreglos institucionales que regulan la gestión de los recursos naturales son especialmente importantes en cuanto a la equidad económica y protección del medio ambiente presentes en los espacios con manejo forestal comunitario (Antinori & Bray, 2005). Las EFC son clasificadas de acuerdo a su nivel de participación en la cadena de valor de la madera, pueden ser de tipo I (productores potenciales), II (productores que venden madera y tocón), III (productores que llevan a cabo la extracción y cuentan con equipo), IV (productores con capacidad de transformación y comercialización de sus productos) y V (productores de materia prima que cuentan con aserradero y otra infraestructura para dar mayor valor agregado a la madera).

CAPITULO IV. METODOLOGÍA

En este capítulo 4, como primer punto se identifica la metodología del diseño de estudio de caso y sus elementos. Adicionalmente se presentan las preguntas de investigación que han servido como hilo conductor para la búsqueda de respuestas en la presente investigación; además se establecen las hipótesis que podrían dar respuesta a las preguntas establecidas. Posteriormente se presenta una descripción de la unidad de análisis considerada en el estudio y finalmente se presenta la metodología de análisis de ciclo de vida seguida para la evaluación de cada proceso unitario en la UCFAS.

4.1. Diseño de estudio caso

Monje (2011), define al estudio de caso como un estudio exclusivo de uno o muy pocos objetos de investigación, lo cual permite conocerlos en forma amplia y detallada. Consiste, en estudiar cualquier unidad de un sistema, para estar en condiciones de conocer algunos problemas generales del mismo. Este tipo de investigación es apropiado en situaciones en las que se desea estudiar intensivamente características básicas, la situación actual, e interacciones con el medio de una o pocas unidades tales como individuos, grupos, instituciones o comunidades.

El mismo autor define las características del estudio de caso de la manera siguiente:

- a. Se estudia a profundidad la unidad de observación, teniendo en cuenta características y procesos específicos o el comportamiento total de esa unidad en su ciclo de vida total o un segmento de él.
- b. Se puede obtener información básica para planear investigaciones más amplias, pues debido a lo intensivo de la indagación, arrojan luz sobre importantes variables, interacciones y procesos que merezcan ser investigados extensivamente. Sin embargo sus resultados son difícilmente generalizables a las poblaciones a las cuales pertenecen los casos, pues estos generalmente se escogen porque representan situaciones dramáticas más típicas.

Sin embargo para Yin (2002) la cuestión de generalizar si es aceptable, pero no se trata de una generalización estadística (desde una muestra o grupo de sujetos hasta un universo), como en las

encuestas y en los experimentos, sino que se trata de una generalización analítica (utilizar el estudio de caso único o múltiple para ilustrar, representar o generalizar a una teoría). Así, incluso los resultados del estudio de un caso pueden generalizarse a otros que representen condiciones teóricas similares.

Por tanto, la cuestión de la generalización de los estudios cualitativos (incluido el estudio de caso) no radica en una muestra probabilística extraída de una población a la que se pueda extender los resultados, sino en el desarrollo de una teoría que puede ser transferida a otros casos. De aquí que algunos autores prefieran hablar de transferibilidad, en vez de generalización, en la investigación de naturaleza cualitativa (Maxwell, 1998). En este sentido, la credibilidad de las conclusiones obtenidas se basa, en última instancia, en la calidad misma de la investigación desarrollada. De aquí la importancia de diseñar el estudio de caso de una forma apropiada e introducir una serie de tácticas a lo largo del proceso en que éste se desarrolla (Martínez, 2006).

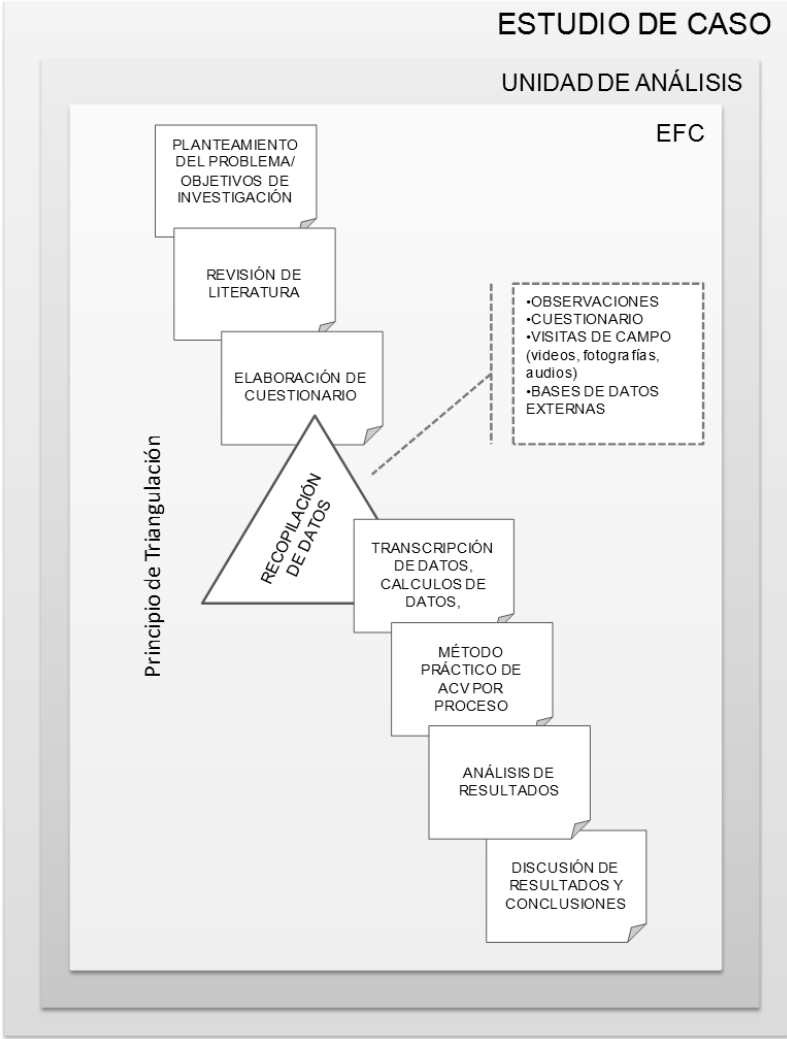
Para Yin (2002), las preguntas de investigación, son el primer elemento del diseño de cualquier investigación. Estas interrogantes identifican el problema central de la investigación e indican qué metodología de investigación será la más adecuada. El ¿cómo? y ¿por qué? son las explicaciones que persigue la metodología de estudio de caso. Además de que éstas preguntas servirán de referencia para la recolección de datos (Martínez, 2006).

Para responder a las preguntas anteriores la investigación de estudio de caso, se cuenta con tácticas esenciales que caracterizan la investigación mediante el uso de fuentes primarias o secundarias, como pueden ser desde observaciones, documentación interna, información de la empresa, datos de entrevistas o cuestionarios, ya que mediante el uso de éstas fuentes de recopilación de datos, los resultados se fortalecen y la evidencia se triangula. La triangulación es un concepto importante en la investigación de estudio de caso debido a que el fenómeno investigado es visto desde diferentes perspectivas, además ofrece bases sólidas para los hallazgos y apoya los argumentos para su contribución en el conocimiento (Farquhar, 2012).

En seguida se presenta el esquema del procedimiento metodológico en el que se desarrolla la presente investigación, que conforme a los argumentos anteriores, se trata de un estudio de caso acorde a las características que lo describen, se parte de los antecedentes y análisis de la UCFAS para entender su contexto durante el periodo siguiente: seis meses de visitas semanales y posteriormente visitas mensuales, y se logró recolectar datos de veinticuatro meses (enero 2010-diciembre 2011). La elección de la UCFAS es debido a que es una empresa que representa un caso de éxito en su organización comunitaria y que en pocos años ha sobresalido por la buena

gestión de sus recursos naturales, sin embargo la demanda de productos y múltiples aspectos que se presentan en el mercado, es necesario se busquen alternativas para mejorar su competitividad y sustentabilidad a determinado plazo (Figura 16).

Figura 16. Procedimiento metodológico de diseño de estudio de caso de la investigación



Fuente: Elaboración propia en base a Martínez (2006)

4.1.1. Tipo de análisis

Se presenta un breve resumen de cómo las investigaciones pueden caracterizarse por su propósito y por la aportación teórica pretendida (Tabla 14) (Sarabia S., 1999; Snow & Thomas, 1994).

Tabla 14. Caracterización de la investigación

Propósito	Estudio descriptivo	Identificar elementos clave o variables que inciden en el fenómeno a la que dotar a las relaciones observadas de suficiente racionalidad teórica
	Explicativo	Si se busca descubrir los vínculos entre las variables y el fenómeno a la vez que dotar a las relaciones observadas de suficiente racionalidad teórica
	Predictivo	Si se examinan las condiciones límites de una teoría
	Estudio exploratorio	Primer acercamiento De las teorías, métodos e ideas del investigador a la realidad objeto de estudio
Aportación teórica pretendida	Generar teorías	
	Contrastar teorías existente	

Fuente: Tomado de Snow y Thomas (1994); Sarabia S. (1999).

En la presente investigación se realiza un estudio longitudinal de tipo exploratorio- descriptivo. Ya que se trata de un análisis relativamente desconocido en los sectores productivos y mucho más en el sector rural, en este contexto se realiza el análisis exploratorio-descriptivo para obtener y especificar las características del sector.

4.1.2. Técnicas e instrumento para recopilación de información

Yin (2002), recomienda la utilización de múltiples fuentes de datos y el cumplimiento del principio de triangulación para garantizar la validez de la investigación. Esto permitirá verificar si los datos obtenidos a través de las diferentes fuentes de información guardan relación entre sí, es decir, si desde diferentes perspectivas convergen los efectos explorados en el fenómeno objeto de estudio.

En la presente investigación se realizaron visitas continuas durante los primeros 6 meses (abril – septiembre, 2010) posteriormente las visitas fueron de manera mensual, la UCFAS completó los datos del año 2010 (Enero-Marzo) y los datos del año 2011 (Noviembre-Diciembre) debido a que se llevan registros diarios de la producción, con esto se pudo obtener un historial de datos de 24 meses completos durante el 2010-2011. Así también se realizaron observaciones directas estructuradas, donde se hizo uso de recursos auxiliares, como grabadora de audio, grabadora de video y cámara fotográfica, estas observaciones fueron en diferentes días de la semana y diferentes horarios, se recopiló información que permitió elaborar múltiples diagramas de proceso en los procesos de transformación de la UCFAS.

Se identificó al personal clave dentro de los procesos productivos para poder obtener información por medio de un cuestionario general, donde en cada sección se recopila información por proceso, el personal clave fueron gerentes y supervisores de la UCFAS, desde el departamento de recursos humanos, contabilidad, aserrío, secado, fábrica de muebles hasta mantenimiento (ANEXO 4).

La estructura del cuestionario se realizó en partes y conforme al modelo establecido por CORRIM:

Parte 1: Datos sobre la empresa

Parte 2: Información relativa al proceso de recepción de madera en rollo

Parte 3. Información relativa al proceso de aserrío

Parte 4. Información relativa al proceso de secado donde se incluyen aspectos de la caldera

Parte 5. Información relativa al proceso de tablero finger joint

Parte 6. Información relativa al proceso de elaboración de muebles escolares

La información requerida básicamente se enfocó a procesos, además de estructura organizacional, número de empleados por departamento, consumo de energía, consumo de materias primas, entradas de materia prima, producción por departamento, salidas por departamento, emisiones al aire, emisiones al agua y residuos sólidos (ANEXO 4). Además se realizaron entrevistas informales con personal operativo de las áreas de producción, donde en algunas ocasiones fue grabado el audio.

Se recopilaron datos como copias de requisiciones de compra de materiales que sirven como insumos complementarios al proceso productivo, así como copias de las facturas de electricidad de cada área, igualmente copias de los diferentes manuales de máquinas y equipos utilizados en los procesos, copias de reportes de producción tanto diaria y mensual por departamento, y además se obtuvieron copias de reportes de ventas de co-productos y productos finales.

Se buscaron datos complementarios en bases de datos externas como Ecoinvent y USLCI, así como el llenado de fichas de datos para realizar el ACV en cada proceso unitario (ANEXO 5).

Asimismo se realizaron tomas de video por proceso y por área, así como se tomaron fotografías por cada evento, es así que por las diversas fuentes de recolección de datos se cumplió el principio de triangulación.

4.1.3. Validez y fiabilidad

La mayoría de los métodos utilizados para medir los criterios de validez y de fiabilidad de los resultados de una investigación, se basan en una serie de técnicas y coeficientes estadísticos, que pueden ser aplicados con mayor facilidad en los estudios cuantitativos. Sin embargo, el estudio de casos contemporáneo ha logrado superar las críticas referidas al cumplimiento de los mismos, toda vez que algunos autores que se han pronunciado en favor de este método han invertido esfuerzos en demostrar que siguiendo algunos procedimientos específicos es posible lograrlos (Tabla 15) (Martínez, 2006).

Tabla 15. Pruebas para evaluar la calidad y objetividad de un estudio de caso

Prueba	Táctica de Estudio de caso	Fase de investigación en que se aplica
Validez de la construcción: establece las variables que deben ser estudiadas y las medidas operacionales correctas para los conceptos que se eligieron para ser estudiados.	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de múltiples fuentes de evidencia • Establecimiento de la cadena de evidencia • Revisión del reporte preliminar del estudio de caso por informantes clave 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de datos • Obtención de datos • Composición
Validez interna: establece las relaciones causales bajo ciertas condiciones y sus variaciones ante otras condiciones para distinguir relaciones espurias	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de patrones de comportamiento • Construcción de la explicación del fenómeno • Realización del análisis de tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de datos • Análisis de datos • Análisis de datos
Validez externa: establece el dominio en el cual los resultados del estudio pueden ser generalizados	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de la replicación en los datos 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la investigación
Fiabilidad: demuestra en que medida las operaciones de obtención de datos pueden ser repetidos con los mismos resultados por parte de otros investigadores	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de protocolos de estudios de caso • Desarrollo de bases de datos de los casos de estudio 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de datos • Obtención de datos

Fuente: Tomado de Martínez (2006) en base a Yin (2002)

La validez de la construcción se realizó mediante múltiples técnicas para obtener datos de los procesos de producción de la UCFAS, desde el cuestionario, entrevistas informales, observaciones directas estructuradas, recopilación de datos a través de reportes, para que las medidas de cumplimiento operacional de los diferentes conceptos fueran correctas.

Con respecto a la validez interna, esta validez solo es requerida para los estudios de caso explicativos o causales y no para los descriptivos o exploratorios; y se basa en el establecimiento de relaciones de causalidad como oposición a las esporádicas (Massanet, 2003). Es así que en presente estudio no se ha considerado esta validez.

Validez externa es la extrapolación de los resultados obtenidos sobre poblaciones distintas de la estudiada, en este caso es importante señalar que los resultados obtenidos en el presente estudio, no se pueden generalizar a otra EFC, ya que será necesario realizar un ACV por procesos, por

producto y por empresa, sin en cambio los resultados si pueden ser tomados como referencia para un análisis similar.

Fiabilidad. Se hizo uso de múltiples fuentes de evidencia de manera que la información pudiera ser convergente. Los métodos de recolección de datos puede ser establecidos de la misma manera, no obstante todo depende de los límites del sistema, así como de los procesos, actividades o materiales que son incluidos y excluidos, sin embargo en términos generales si se repitiera el mismo estudio, bajo las mismas circunstancias las variaciones serían mínimas. El presente análisis está respaldado con datos de los cuestionarios, reportes de producción, videos, y demás información recolectada para el ACV de los procesos de producción de la UCFAS.

Debilidad en datos, ya que algunos datos no fueron tomados directamente tomados de la EFC por la falta de mediciones expertas, como es el caso de las emisiones al aire y las emisiones al agua ya que fueron considerados datos de las bases de datos externas y de resultados de otras investigaciones.

La recolección de datos fue realizada por la misma persona, es así que podría existir errores ya que la toma de decisiones fueron establecidas bajo el mismo criterio.

4.2. Preguntas de investigación

¿Los procesos de producción de productos maderables en la empresa forestal comunitaria UCFAS son más sustentables que los procesos de producción de productos maderables producidos en empresas forestales privadas?

¿Es posible mejorar el desempeño ambiental de los procesos productivos en la UCFAS mediante los resultados obtenidos en el análisis de ciclo de vida?

4.3. Hipótesis

H₁

Los procesos productivos de la empresa forestal comunitaria contribuyen en menor medida al impacto ambiental, comparados con los procesos productivos de la empresa forestal privada.

H₂

Mediante el análisis de ciclo de vida de 1m³ de madera aserrada seca, 1m³ de tablero finger joint y 1 kg de material de producto terminado es posible identificar puntos débiles (*hot spots*) del proceso de producción en la UCFAS para mejorar el desempeño ambiental de los procesos.

4.4. Unidad de análisis

Martínez (2006), argumenta que en el diseño de la investigación, los estudios de casos pueden ser simples o múltiples, dependiendo del número de casos que se vaya a estudiar. Sin embargo (Yin, 2002) propone una tipología que establece cuatro tipos básicos, dependiendo del número de casos y de los diferentes niveles de análisis, así, se identifica:

- El caso único o unidad de análisis
- El caso único con unidad principal y una o más subunidades
- Los casos múltiples con unidad principal de análisis, y
- Los casos múltiples con unidad principal y una o más subunidades dentro de la principal.

La recolección de la información, la realización del análisis y la obtención de conclusiones relevantes en una investigación científica han de desarrollarse para cada nivel (Yin, 2002).

En el caso de la presente investigación se considera un caso único, por lo tanto la UCFAS, considerada según la clasificación de Bray & Merino (2004) como de tipo IV, ya que sus

procesos abarcan desde tipo productivo como el aserrío de madera verde, secado de madera verde, fabricación de productos de madera, hasta el proceso administrativo con recursos humanos y finanzas.

La UCFAS se encuentra ubicada en la Sierra Norte del Municipio de Ixtlán de Juárez, en el estado de Oaxaca, en la zona centro sur de la República Mexicana. La dificultad de obtener la participación de más empresas y al considerar un solo caso de estudio fue debido a la resistencia que presentan las empresas para divulgar información de carácter medioambiental, además de que consideran que este análisis es un proceso largo y lento.

4.4.1. El caso de la Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios de Ixtlán de Juárez (UCFAS)

La Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios (UCFAS) se encuentra ubicada en el municipio de Ixtlán de Juárez que es una comunidad campesina forestal de origen zapoteca que tiene en posesión efectiva 19,180 hectáreas (excluyendo las 130 hectáreas de la zona urbana), con aproximadamente 4500 habitantes, de los cuales son 372 comuneros. La comunidad de Ixtlán de Juárez se encuentra incluida en la provincia fisiográfica denominada Sistema Montañoso del Norte de Oaxaca, presenta una topografía muy accidentada cuyas pendientes más frecuentes fluctúan en un rango del 40 al 60% y su altitud está entre los 2,200 y 2,800 msnm (Figura 17) (FSC, 2001; UCFAS, 2013).

Figura 17. Ubicación geográfica de la UCFAS en Ixtlán de Juárez- Oaxaca-México.



Fuente: Exportado de google earth

Las primeras actividades de aprovechamiento forestal en Ixtlán de Juárez surgen en los años cuarenta cuando se concesiona el bosque a empresas paraestatales, mismas que excedieron el aprovechamiento de los recursos sin retribución económica ni social a la comunidad y debido a su deseo de renovar sus concesiones durante los ochentas surge inconformidad por parte de la comunidad debido al deterioro de los bosques y se integra la Organización en Defensa de los Recursos Naturales de la Sierra Juárez (ODRENASIJ). Las concesiones a la paraestatal se detienen y se les otorga los derechos a las comunidades, quienes conforman la primera Unidad de Producción Forestal Lic. José López Portillo (Ixtlán de Juárez, Calpulalpam de Méndez, Santiago Xiacui y La Trinidad Ixtlán) para aprovechamiento de los boques, misma que funcionó hasta 1988. Posteriormente Ixtlán de Juárez con sus 384 comuneros en ese tiempo deciden constituir su propia empresa comunal denominada Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios, ejerciendo sus derechos legales a través de un Comisariado de Bienes Comunales (CBC), mismo que se erige como la autoridad principal y en 1992 se obtiene un permiso para contratar de manera independiente los servicios técnicos forestales, además de elaborar un

programa de manejo forestal integral a diez años (Sastre, 2008; Toledo, 2012; Vázquez-Maguirre & Portales, 2014)

La UCFAS fue creada por la necesidad de mejorar las condiciones socioeconómicas de la comunidad a través de la gestión del proceso de industrialización de la madera, estableciendo su estructura comunal desde su origen, fue presidida por el presidente del CBC quien tenía como interés primordial velar por los intereses de la comunidad a sabiendas que sería cambiado por la asamblea comunal a los tres años (Figura 18 y 19). Posteriormente en los noventas se adquirieron aserraderos manuales e iniciaron la transformación de madera, en el 2001 se adquirieron las primeras estufas de secado de madera y comenzó a operar la fabricación de muebles a baja escala como mangos de madera de encino, así como de pisos de parque y puertas de madera maciza de pino estufado, además la comunidad logra que su aprovechamiento forestal sea certificado por el *Forest Stewardship Council* (FSC) (UCFAS, 2013; Vázquez-Maguirre & Portales, 2014).

Actualmente, la superficie sujeta a aprovechamiento forestal de acuerdo al programa de manejo forestal del 2006, es de 3,492.25 hectáreas. El volumen cosechado de pino anualmente oscila entre los 20,000 y 22,000 m³ de rollo-tabla-árbol, además del volumen extraído de especies de latifoliadas. El derribo, extracción, transporte y venta de madera en trozo son llevados a cabo por la UNFOSTI (Unión Forestal Santo Tomás S.P.R. de R.I. otra empresa comunal de Ixtlán de Juárez). La UCFAS integra el aserradero, la estufa de secado y la fábrica de muebles. En promedio emplea cerca de 120 trabajadores, de los cuales 60% son originarios de Ixtlán y el resto proviene de otras comunidades aledañas (Ramírez, 2010).

Figura 18 (superior), Figura 19 (inferior). Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios (UCFAS)



Fuente: Imagen tomada por PRM (superior), Google earth, UCFAS, 2010 (inferior)

En el 2006 debido a la certificación obtenida se realizan esfuerzos por integrar una entidad que apoye su desarrollo industrial y promueva las ventajas de estar certificados, es así que se integran para la comercialización dos comunidades más a la UCFAS, las comunidades de Santiago Textitlán y Pueblos Mancomunados (que se dedican también a la transformación de madera),

para conformar la Integradora Comunal Forestal de Oaxaca, S.A de C.V. (ICOFOSA) (Figura 20), la inversión requerida fue aportada en 70% por las mismas comunidades y 30% provino de otras fuentes de financiamiento (Ramírez, 2010; UCFAS, 2013).

La ICOFOSA se establece oficialmente en Julio de 2006 promoviendo la fabricación, industrialización y comercialización de muebles de madera, dicho proyecto ha beneficiado a aproximadamente 23 mil 500 habitantes, con 1000 empleos directos y 500 indirectos y una derrama económica anual de 30 millones de pesos (1.601 .526,01€) (UCFAS, 2013).

Figura 20. Integración vertical de las tres EFC



Fuente: UCFAS (2013)

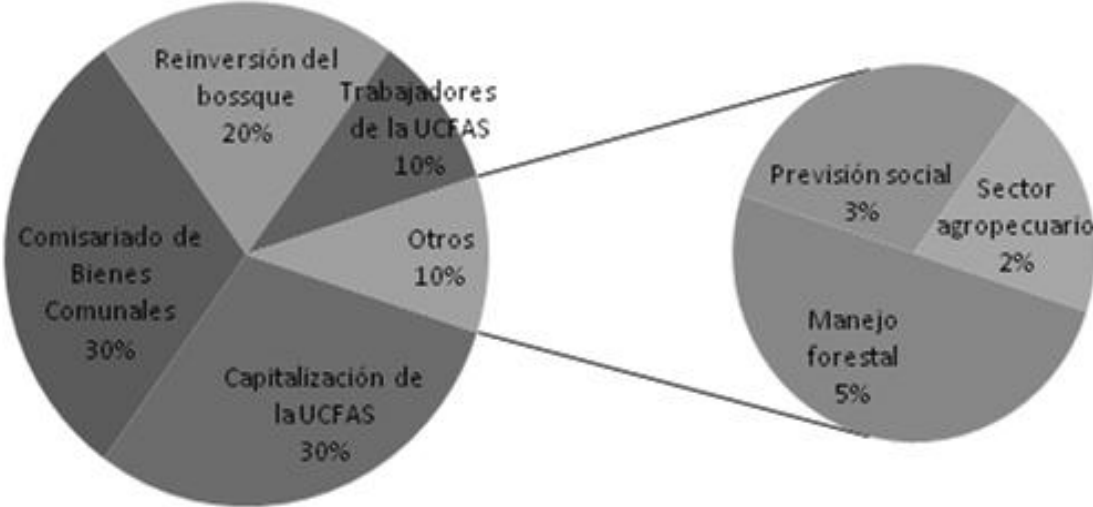
La UCFAS se encarga del proceso de aserrío, estufado y la fabricación de muebles. La madera en rollo procesada por la UCFAS es en su totalidad proveniente de los bosques de Ixtlán de Juárez y específicamente comprada a la UNFOSTI, lo que garantiza que la madera utilizada sea legítima proveniente de bosques certificados. De acuerdo a informes del departamento de Recursos Humanos la UCFAS genera 220 empleos permanentes y hasta 70 empleos temporales (comunicación personal con el Jefe de Recursos Humanos de la UCFAS, 2010).

Cabe resaltar que la UCFAS es una empresa social que se diferencia de las empresas forestales privadas debido a los diferentes objetivos que persiguen (Tabla 16). A partir de las características identificadas, se obtienen elementos para plantear que el tipo de organización, al ser comunitaria se enfoca más en el beneficio social, económico y ambiental del que se observa en las empresas forestales de propiedad privada (B. Hernández, 2011).

Se demuestra por lo tanto que los objetivos de la UCFAS están encaminados al desarrollo sustentable, ya que al ser una empresa social destina sus utilidades obtenidas a comuneros y trabajadores pero además a la comunidad (Figura 21), el 10% se reparte entre los trabajadores

de la UCFAS sean comuneros o no y el 90% restante se distribuye como sigue: 30% a capitalización de la empresa, 20% a reinversión del bosque, 30% a apoyo al CBC, quien se encarga de distribuirlo a comuneros activos y para obras de beneficio social para la comunidad, 5% a elaboración del estudio de manejo forestal u otros, 3% a previsión social, y 2% sector agropecuario, cabe resaltar que la distribución de utilidades puede cambiar debido a múltiples necesidades que vayan surgiendo (UCFAS, 2013).

Figura 21. Distribución de utilidades de la UCFAS



Fuente: Elaboración propia de acuerdo a UCFAS, (2013)

Tabla 16. Características de la UCFAS y otras EFC privada en el estado de Oaxaca

	Empresa Forestal Comunitaria	Empresa Forestal Privada
Tipo de Propiedad	Se basa en el aprovechamiento del bosque localizado en tierras de propiedad comunal. Las comunidades extraen y transforman la madera.	El espacio de aprovechamiento era concesionado por el estado a un particular. Actualmente la madera que se procesa en aserraderos privados proviene de comunidades con aprovechamiento forestal pero que no tienen capacidad de procesar la madera y la venden en pie o en rollo.
	Las comunidades son las que gestionan sus recursos forestales y obtienen mayores beneficios económicos.	Los recursos forestales son gestionados por la comunidad pero el beneficio obtenido por la venta de madera no es significativo.
Toma de decisiones	La toma de decisiones de mayor relevancia está sujeta a la aprobación de la Asamblea Comunitaria, el Consejo de Vigilancia y Consejo de Administración.	La toma de decisiones es interna y no se consulta a los trabajadores.
	La comisión de asesores está conformada por comuneros.	Los asesores son ajenos a la comunidad.
Tecnología	La adquisición de maquinaria y equipo responde a criterios de generación de empleos y factibilidad económica y ambiental.	La maquinaria y equipo tiene el propósito de reducir mano de obra y hacer más eficiente la producción. El impacto ambiental generalmente no es considerado.
Mano de obra	El aprovechamiento forestal comunitario emplea principalmente a personas de la comunidad de Ixtlán y de pueblos cercanos.	Se emplea a personas especializadas que provienen de otros estados con trayectoria en el sector forestal.
	Interés por contratación de mujeres.	Se contrata a los empleados mejor capacitados.
	Los puestos administrativos y gerenciales son determinados por el consejo administrativo formado por comuneros.	Los puestos administrativos y gerenciales son determinados por la empresa.
	Los trabajadores que a la vez son comuneros son dueños de los medios de producción. El pago que reciben los trabajadores es superior al salario mínimo. Cuentan con prestaciones, bonos y acceso a créditos personales. Ixtlán está preocupado por preparar a los jóvenes de la comunidad para que formen parte de la empresa forestal comunitaria.	Los trabajadores son asalariados, no son dueños de los medios de producción. Los sueldos y salarios se determinan con referencia al salario mínimo, en muchos casos no se tienen prestaciones.
Información	Se informa a la comunidad sobre el manejo forestal.	El manejo de la información es restringido a la empresa e instituciones de gobierno
Inversión en infraestructura	Se realiza inversión en infraestructura que beneficia a la comunidad	La infraestructura que se construye, generalmente es para beneficio únicamente de la empresa.
Certificación forestal	Preocupación por mantener certificaciones que avalen el buen manejo forestal y certificar otras partes del proceso productivo.	Las certificaciones forestales no son una prioridad y se consideran un gasto no necesario o no redituable.

Fuente: Tomado de Hernández (2011).

4.4.2. Estructura organizacional de la UCFAS

De acuerdo a investigaciones empíricas realizadas en diferentes comunidades en México (Bray & Merino, 2004) mencionan que la estructura establecida para la gestión agraria de las comunidades locales incluye asambleas generales, comisariados, consejos de vigilancia y juntas de pobladores, además de que todos los ocupantes de estos cargos son elegidos por la comunidad a través del voto secreto. Los mismos autores sustentan que estas instancias y sus funciones se han convertido en la base del autogobierno en el sector rural de México. A pesar de la frecuente corrupción y manipulación de las elites locales, estas formas de tenencia y de organización comunitaria dieron a las poblaciones campesinas experiencia en cuestiones de liderazgo y negociación con autoridades externas, y en muchos casos se ha constituido formas genuinas de democracia comunitaria.

Ixtlán de Juárez se rige por el sistema tradicional de usos y costumbres, como estructura de organización y gobierno comunitario, cuyo sistema se refiere a los cargos y tequios (Ley de Derechos y cultura Indígena del Gobierno del estado de Oaxaca, 1997).

El *sistema de cargos* es el eje de la vida civil-religiosa tradicional de la comunidad, a través de éste se establecen los derechos y obligaciones de los comuneros tanto en las prácticas religiosas tradicionales, la administración de la vida civil y en buena parte de la administración de la EFC. Las obligaciones incluyen el cumplimiento de los cargos así como la participación en los tequios (prácticas voluntarias para mantener el bosque). El servicio a la comunidad reporta derechos a los comuneros como son el derecho a tierra para construir vivienda y una parte más para cultivar; además solo los comuneros activos (que cumplen con sus obligaciones) tienen derecho a recibir utilidades que la EFC haya generado (Bray & Merino, 2004; Sastre, 2008, Estatuto Comunal de Ixtlán de Juárez,s.f).

Otra práctica tradicional de las comunidades es la rotación de puestos cada tres años, esto también se aplica a la administración de la EFC, además de la conformación del *Consejo de caracterizados* que suelen estar conformados por personas con mayor experiencia, es decir que han pasado por todos los cargos o que han servido de otra manera a la comunidad, este consejo suele ser como una Suprema Corte, donde los conflictos que no se han podido resolver en otros niveles, son discutidos y resueltos por este consejo, esta figura de organización se ha convertido en factor clave para el capital social, institucional y organizacional para las EFC (Bray & Merino, 2004).

El órgano máximo de decisión es la *Asamblea General de Comuneros*, que en ella se toman las decisiones que afectan a todos los ámbitos tanto de la EFC como de la vida en la comunidad, se compone por la mitad del total de los comuneros más uno, salvo excepciones que marca la Ley Agraria, esta Asamblea tiene la responsabilidad de elegir a los ocupantes de los distintos cargos (se les otorga una ayuda pero no un sueldo) (Sastre 2008, Estatuto Comunal de Ixtlán, s.f.).

Así mismo Chapela (2007) afirma que la Asamblea General de cada comunidad en Oaxaca toma las decisiones sobre el manejo forestal que tienen que ver con establecer las áreas para la agricultura, silvicultura y la vida silvestre; los reglamentos para la recolección de leña, el pastoreo y para otros usos del suelo; también se determinan aspectos de manejo forestal referentes a la reforestación y asuntos de la EFC en el aserradero o la proporción de madera a extraer del volumen anual autorizado. Un punto central es que los familiares de comuneros pueden trabajar en la EFC y quien esté registrado como comunero puede participar a través de la asamblea en la toma de decisiones sobre el manejo forestal y de otras propiedades comunales.

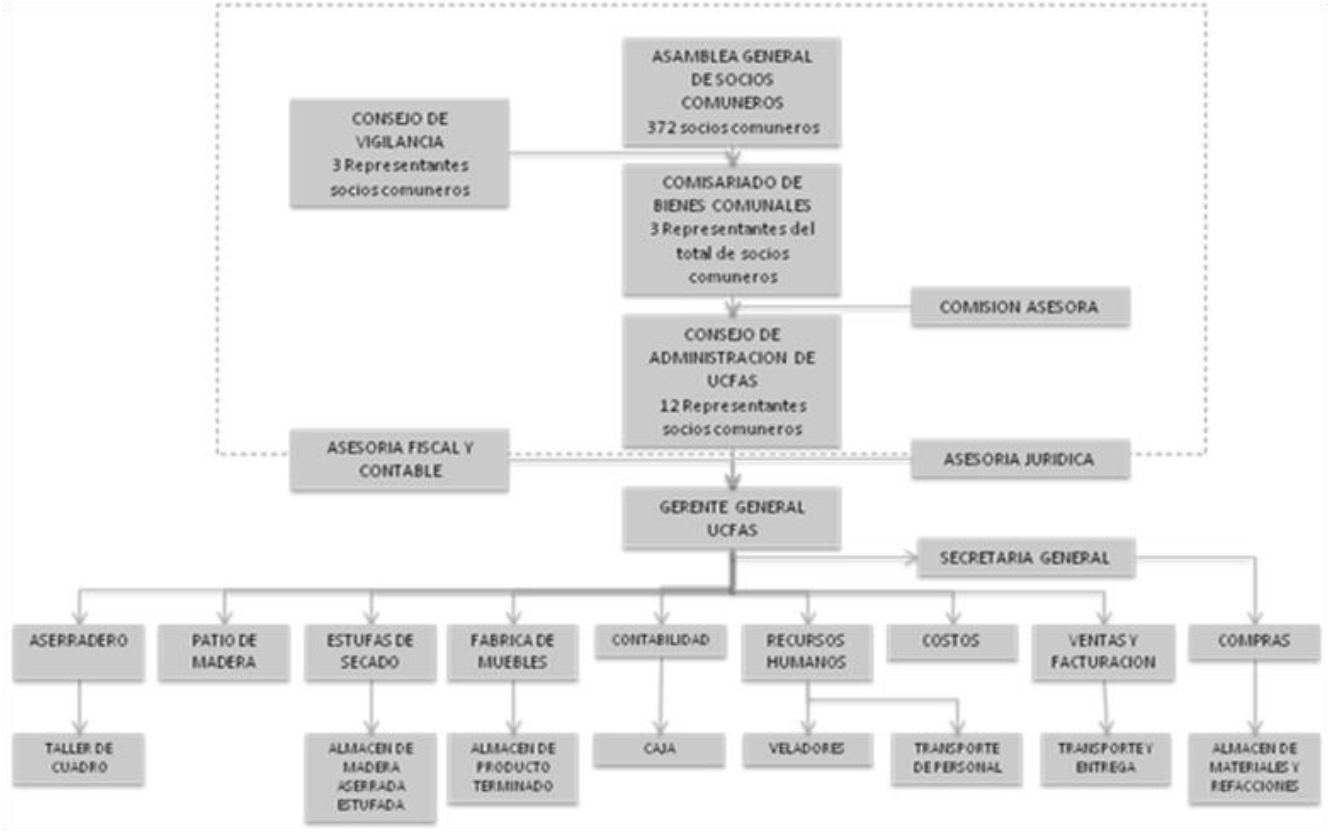
Los miembros del Comisariado de Bienes Comunales son elegidos en la Asamblea General de Comuneros y son los encargados de la ejecución de los acuerdos tomados en la Asamblea, así como de la representación y gestión administrativa de la comunidad. Sus funciones más importantes incluyen la administración de los bienes de la comunidad, la convocatoria y presidencia de la Asamblea y tequios y la información periódica a la Asamblea de las actividades realizadas. Igualmente son integrantes del Consejo de Administración de las empresas comunitarias. Además cuenta con el respaldo de la Comisión Asesora que está formada por comuneros elegidos en la Asamblea y cuya misión es analizar los problemas y propuestas y sugerir alternativas de solución, con el fin de agilizar el proceso de toma de decisiones (B. Hernández, 2011; Sastre, 2008).

La ley agraria previno la necesidad de una función auditora y de supervisión que cumple el Consejo de Vigilancia, que se encarga de vigilar al Comisariado de Bienes Comunales y a cada una de las Empresas Comunitarias para que sus acciones estén dentro de los acuerdos de la Asamblea y el Estatuto Comunal. Además a través de él se asegura la gestión transparente de los recursos comunes y por lo tanto se fortalece el sistema de organización social (Bray & Merino, 2004; Comunidad Agraria de Ixtlán de Juárez, 2007; Hernández, 2011).

Con relación a lo antes mencionado, se presenta la estructura organizacional de la UCFAS, misma que ha tenido modificaciones en los últimos años con respecto a las responsabilidades de los cargos (Figura 22), se puede notar la máxima autoridad que es la Asamblea General de

Socios Comuneros y las distintas instituciones de la comunidad involucradas en el manejo forestal como el Consejo de Vigilancia, el Comisariado de Bienes Comunales, la Comisión Asesora, y el Consejo de Administración, además de la asesoría jurídica, fiscal y contable. En el siguiente nivel se encuentra la gerencia general de la UCFAS a partir de la cual empieza la gestión interna de la transformación de madera, se puede notar también que la EFC está conformada por los departamentos de: aserradero, patio de madera, estufas de secado, fábrica de muebles, contabilidad, recursos humanos, costos, ventas, facturación y compras. La actividad forestal ha permitido generar hasta 220 empleos permanentes y aproximadamente 70 empleos temporales, de entre los cuales el 40% son mujeres (entrevista personal con Jefe de Recursos Humanos, 2010).

Figura 22. Estructura organizacional de la UCFAS a partir del 2010



Fuente: Recursos humanos UCFAS (2010)

Cronkleton et al., (2011) señalan que este tipo de comunidades han hecho un gran esfuerzo durante varios años para adaptar sus mecanismos de gobernanza comunitaria a instituciones que

pueden utilizarse para administrar empresas comunitarias, estableciendo nuevos niveles de gobernanza internos y en algunos casos, con administradores profesionales que deben responder ante las autoridades tradicionales.

Acosta et al., (2010) afirman que la cosmovisión y la comunalidad son elementos que sustentan al actual manejo forestal de Ixtlán de Juárez y que puede observarse en la capacidad de estructuración, organización y control de la producción forestal con la complementación de apoyos y recursos de diversas fuentes. Es así que la toma de decisiones en la EFC se define como: la elección de alternativas productivas a través de un consenso donde participan las personas involucradas en la gestión forestal, considerando los objetivos de la empresa y de la comunidad (Hernández, 2011).

4.5. Metodología del análisis de ciclo de vida de los procesos productivos en la UCFAS

Este estudio se ha desarrollado considerando las pautas de la norma (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006), NMX-SSA-14040-IMNC-2008 (en México) además se consideraron las directrices del Consorcio para la Investigación de Materiales Renovables Industriales en inglés *Consortium for Research on Renewable Industrial Materials* (CORRIM, 2001) para la realización del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) sobre productos de madera.

Las entradas consideradas para el caso de la madera en rollo durante los veinticuatro meses en la UCFAS fueron de 15,328.86m³, de los cuales se obtuvo 7,917.05 m³ de madera aserrada. La madera aserrada se utiliza generalmente para la construcción y para la fabricación de muebles. La madera aserrada tiene las siguientes dimensiones: ancho de 5.08 cm (2") hasta 30.48 cm (12"), largo de 251.46 cm (8 ¼ ft), grosor de 1.91 cm (¾"), hasta 3.81 cm (1 1/2").

Se secaron 3,766.18 m³ de madera verde en las estufas durante los veinticuatro meses en la UCFAS.

Se fabricaron 548.23 m³ de tablero finger joint con las siguientes dimensiones: espesor de 1.91 cm (¾"), 3.18 cm (1 ¼"), con un largo de 2.44 m x 1.22 m el tablero es utilizado como materia prima en la fabricación de muebles.

El producto final de la UCFAS es el mueble escolar, cuya materia prima es la madera aserrada seca y el tablero finger joint; durante los 24 meses se utilizó 1,134.5m³ entre madera aserrada y tablero para la fabricación de muebles escolares.

Las especies de árboles procesados en la región son: *pinus douglasiana*, *pinus ponderosa*, *spp*, y *pinus ayacahuite* como principales especies con respecto al volumen de producción.

Las emisiones asociadas a la producción de co-productos no son incluidas en los resultados del inventario de ciclo de vida para la madera.

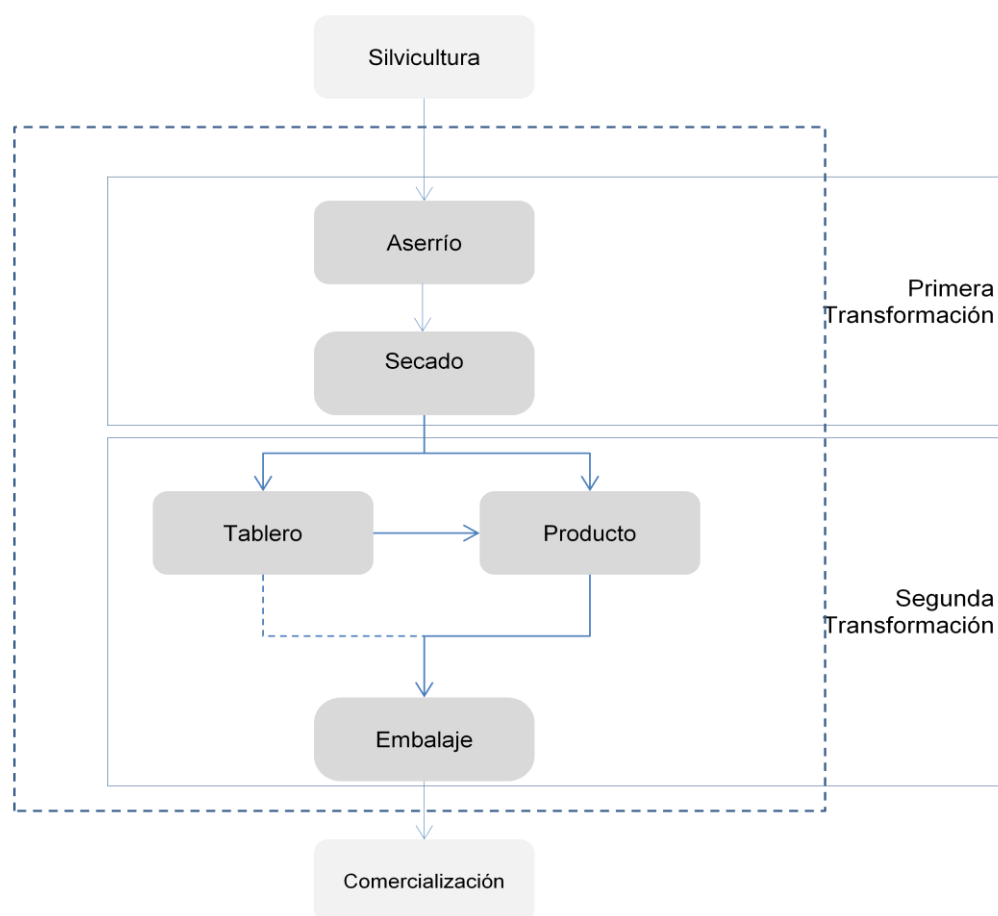
4.6. Enfoque basado en procesos unitarios

La producción de madera se ha considerado en dos procesos generales que a su vez se han definido como procesos unitarios para su posterior análisis (Figura 23).

- Primera transformación: Aserrío y secado en estufas
- Segunda transformación: Fabricación de tablero, fabricación de muebles y embalaje del producto.

La justificación del enfoque es que un sistema unitario es más útil en el análisis para mejorar la eficiencia de los procesos, así como optimizar las operaciones y reducir los impactos ambientales. Además, los datos que se presentan en este documento sirven como puntos de referencia para mejoras en los procesos. Un modelo unitario proporciona una asignación realista de las cargas ambientales (Figura 24).

Figura 23. Enfoque basado en procesos unitarios de la UCFAS



Fuente: Elaboración propia con base a información recolectada de la UCFAS, 2010

4.7. Límites del sistema general

En un ACV completo se integran el análisis detallado de cada etapa del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de la materia prima, el proceso de fabricación, el uso, la disposición final y todas las inter-etapas de transporte involucradas. Sin embargo cada análisis debe tener un alcance y limitaciones debido a la cantidad de recursos que se usan para la obtención de información, debido a que dependiendo de la magnitud del análisis se vuelve complejo y requiere una gran cantidad de recursos económicos y humanos. Es por ello que éste análisis se limita a los procesos de fabricación de madera aserrada seca, la producción de tablero y la producción del mueble escolar, se incluyen los insumos de electricidad y combustibles

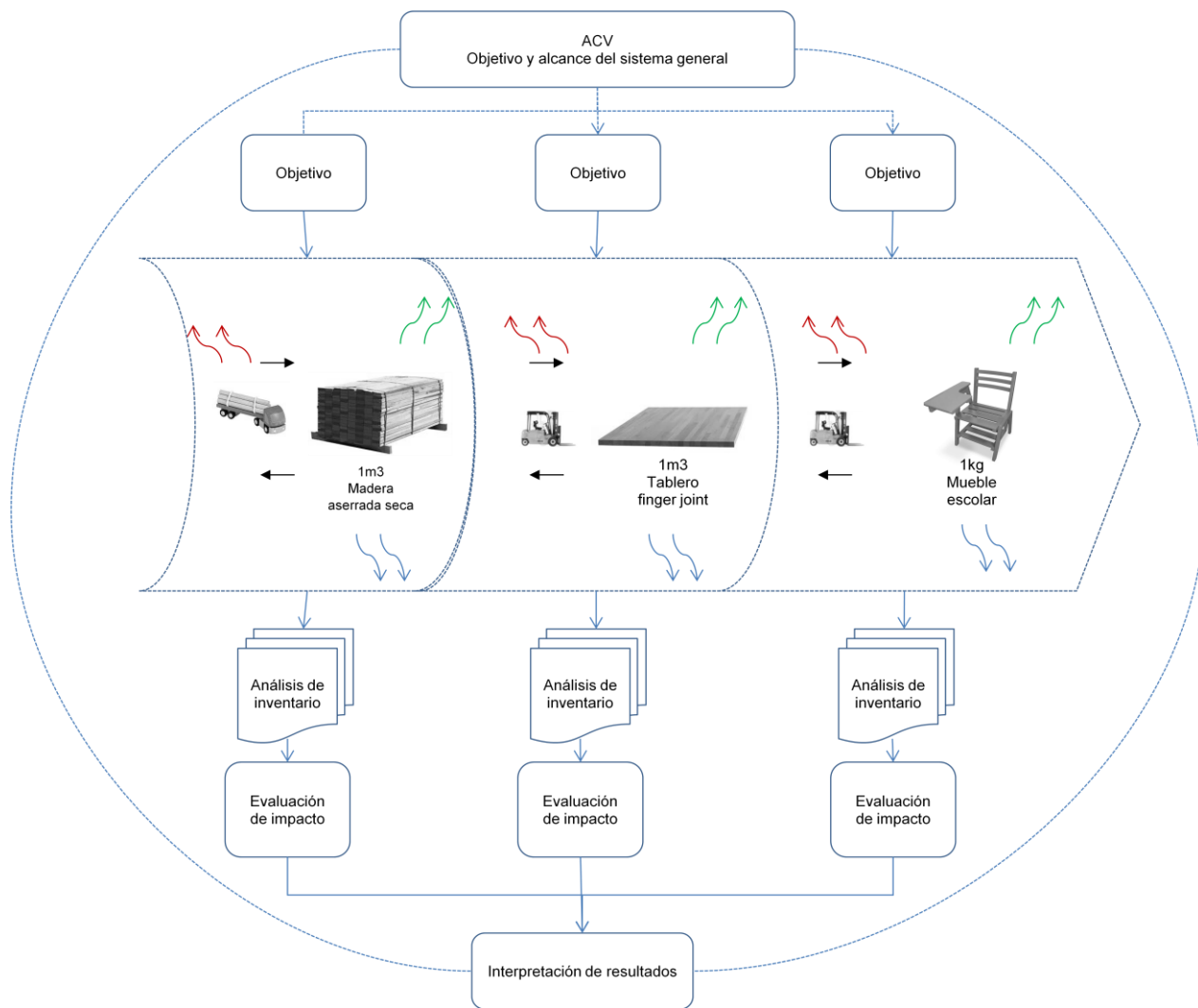
necesarios para producir 1m^3 de madera seca y tablero finger joint, y 1 kg de mueble escolar terminado (mesa, silla, locker, archivero y escritorio) (Figura 25).

Las distancias de transporte fueron consideradas según información del personal de la UCFAS y se representan en el uso de combustibles como diesel.

El límite del sistema acumulativo incluye todos los flujos de energía, combustible y producción de materias primas además de considerar sólo aquellas cargas generadas en el lugar de las instalaciones de fabricación.

El límite del sistema en el sitio no incluye la producción de electricidad ni combustible así como tampoco el transporte de estos, se excluye el proceso de silvicultura y el proceso de comercialización del producto ya sea antes del secado o para el producto final. Las emisiones de combustión de combustibles, las emisiones de fabricación del aserradero, emisiones de estufas y caldera, de fabricación de tablero y mueble escolar se encuentran incluidos dentro del sistema (Figura 26).

Figura 24. Metodología seguida para el análisis de ciclo de vida por procesos unitarios



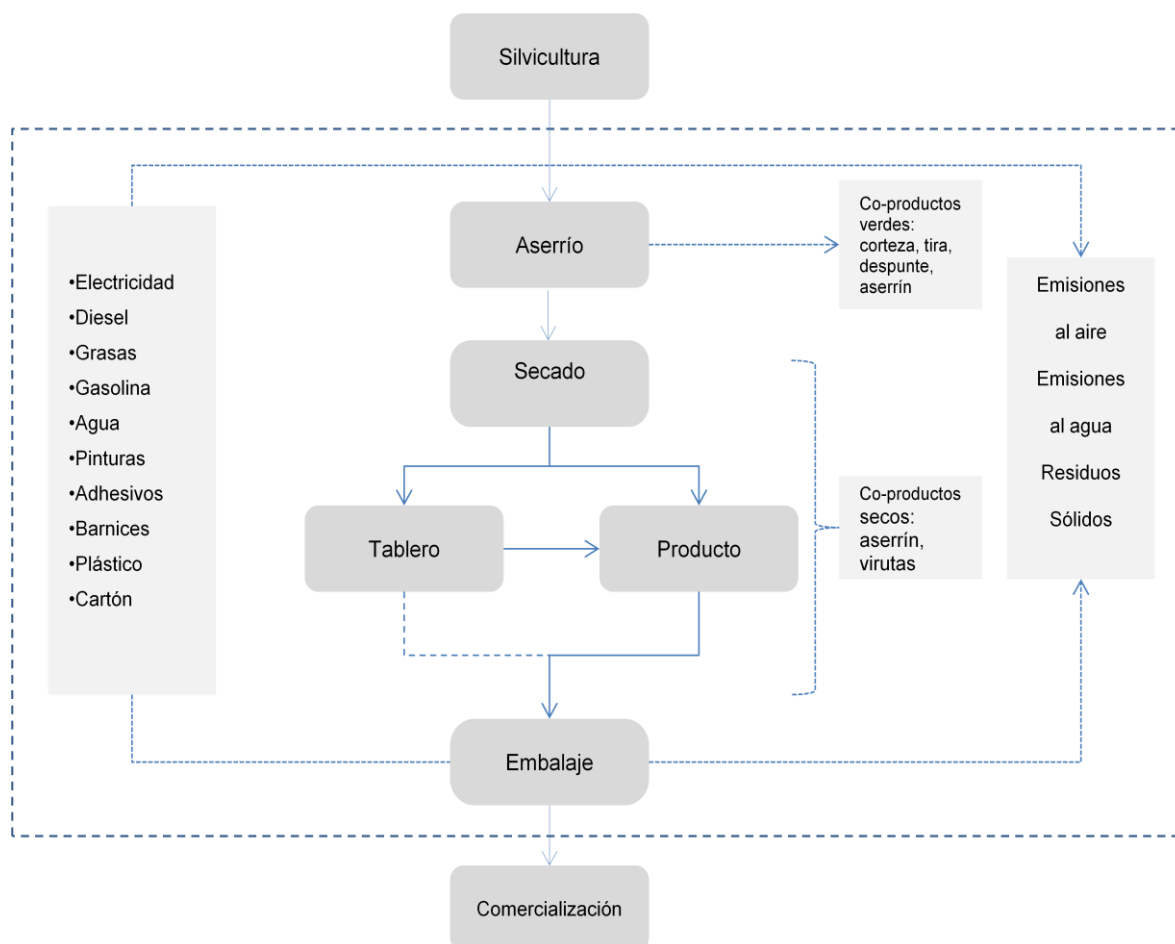
Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Productos considerados en el ACV, 1m³ de madera aserrada seca, 1m³ de tablero finger joint, 1 kg de material terminado para mueble escolar (silla, mesa, archivero, locker, escritorio)



Fuente: Catálogo TIP Muebles, 2010

Figura 26. Límites del sistema y procesos unitarios en la UCFAS



Fuente: Elaboración propia con base a visitas a la UCFAS

Supuestos

1. Los datos primarios se recogieron a través de cuestionarios de acuerdo con el protocolo (ISO 14040, 2006) y las guías de investigación (CORRIM, 2001), en seguida se hicieron fichas de inventario por procesos unitarios para establecer entradas y salidas unitarias.
2. Los datos primarios mostraron que las especies aprovechadas con mayor volumen son: *pinus patula schl. et cham*, *pinus oaxacana -pseudostrobus lindl* y *pinus ayacahuite ehren*.
3. Se lograron recolectar datos de 24 meses de producción durante el período 2010 y 2011, con la ayuda del personal de la UCFAS. La zona geográfica del área de estudio se muestra en la Figura 17.

4. Se realizó una comparación de los datos con trabajos previos realizados internacionalmente para verificar su calidad y en base a los balances de masa y energía.
5. La gravedad específica y densidades tanto verde como seca fueron considerados según mezcla de especies de madera reportadas y se aplicaron para determinar la conversión de masa desde pies tablares (pt). Las gravedades específicas verde y seca quedaron establecidas 1.09 (madera verde) y 0.47 (madera seca); donde la densidad promedio fue de 1,543 kg/m³ y 516 kg/m³ respectivamente.
6. Las entradas de los trozos al aserradero fueron consideradas en m³ y las salidas de madera aserrada fueron convertidas de pt a m³, se consideraron dos procesos unitarios en la primera transformación: aserrío y secado. Y para la segunda transformación: fabricación de tablero finger joint y fabricación de mueble escolar.
7. Se consideraron los valores del poder calorífico inferior para convertir el volumen o masa de los residuos de madera que son usados como combustible a su valor energético.
8. Solo se consideró el uso de agua en la caldera para el proceso de secado.
9. Se realizó la comparación de procesos con la misma unidad funcional en la primera y segunda transformación.
10. Para realizar el comparativo entre procesos unitarios y entre productos finales producidos en la UCFAS se consideró el software SimaPro v. 8.0
11. SimaPro es un software que ha sido desarrollado por Pré Consultants para el ACV donde se puede analizar y comparar aspectos medioambientales de un producto o servicio de una manera sistemática siguiendo las recomendaciones de las normas ISO serie 14040. La primera versión salió en 1990 y desde entonces ha sido utilizado por empresas, consultoras, universidades y centros de investigación en gran cantidad de estudios, lo cual garantiza el potencial en este tipo de análisis. Para mayor detalle del software que realiza ACV ver el ANEXO 3.

4.7.1. Método práctico del ACV en el proceso de producción de madera aserrada seca

Objetivo y alcance del estudio

El presente análisis tiene el objetivo de identificar y cuantificar las entradas y salidas del proceso de producción de la madera aserrada seca, desde una perspectiva de ciclo de vida, para detectar los puntos débiles del proceso de producción y mejorar el desempeño ambiental.

Función del sistema

La madera aserrada seca cumple la función de materia prima para la construcción, además de materia prima para todo tipo de muebles.

Unidad funcional

Se considera 1m^3 de madera aserrada seca, con una densidad de 516 kg/m^3 (peso seco) y contenido de humedad $\sim 8\%$.

Límites del sistema

Se incluye todos los flujos de energía, combustible, entrada-salida y producción de materias primas del aserrío y secado. El límite del sistema en el sitio incluye sólo aquellas cargas generadas en el lugar de las instalaciones de fabricación.

Se considera el horizonte temporal del periodo 2010-2011.

Se excluye del sistema las cargas ambientales relativas a la producción de maquinaria e infraestructuras necesarias de los procesos además de la etapa de silvicultura y extracción de materia prima, así como la producción y transporte de electricidad y combustibles además de la comercialización del producto desde esta etapa del proceso.

Requisitos de calidad de los datos

Los datos han sido recopilados de la UCFAS, se han considerado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía son importantes. Para los procesos en los cuales no se dispuso de

datos primarios se ha recurrido a fuentes de datos ya publicados, así mismo los datos publicados han servido como validación de los datos primarios recogidos.

Se hizo uso del software SimaPro v.8 para incluir los procesos comunes como materiales químicos, combustibles, que se encuentran integrados en la bases de datos ecoinvent.

Análisis del Inventario del ciclo de vida

Descripción del sistema bajo estudio

Aserrío

El proceso de producción inicia con la llegada de madera en rollo a la UCFAS, quien la provee es la UNFOSTI (otra EFC de Ixtlán de Juárez), la madera en rollo viene marcada por primera y segunda calidad, esto dependiendo del largo y diámetro de los trozos, además de venir con una nota de remisión forestal, lo cual garantiza que sea madera obtenida de bosques certificados.

El aserrado es semiautomatizado con capacidad de proceso de aproximadamente 50 m³ (21 000 pies tablares-pt- al día), los trozos son de 2.5 m (8 ¼ pies) y con diferentes diámetros; las dimensiones conseguidas en tablas con grosor desde 1.91 cm (¾”), 3.81 cm (1½”), 8.26 cm (3¼”), 8.89 cm (3½”), 10.16 cm (4”) con anchos de 10.16 cm (4”), 15.24 cm (6”), 20.32 cm (8”), 25.4 cm (10”), y 30.48 cm (12”), reduciendo un margen de error de corte hasta de 3mm.

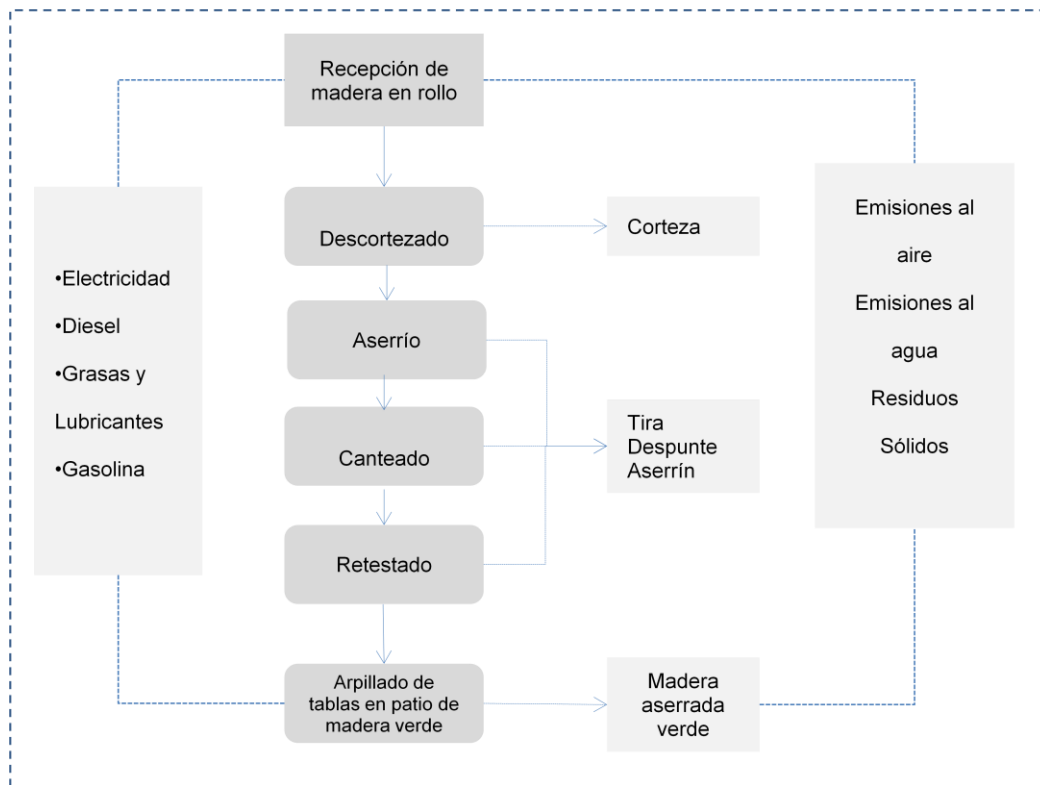
Los trozos son trasladados desde el patio de madera en rollo al aserradero por medio de un cargador frontal de ruedas para ser colocadas en el *transfer de entrada* de la línea de producción a continuación el trozo es descortezado, posteriormente aserrado, por medio de la sierra de cinta vertical con ayuda del alineador láser, en seguida los trozos son canteados o desorillados para posteriormente pasar al retestado que consiste en hacer un corte transversal a las tablas para ser dimensionadas. El final de este proceso consiste en el arpillado de tablas en el patio de madera verde, clasificándolas de mayor a menor calidad (clase o madera sin defectos, segunda, tercera, cuarta, cuarta picada y quinta). La capacidad del patio de madera aserrada verde es de 284 m³ (Figura 27).

Varios son los co-productos obtenidos de este proceso de transformación en orden de importancia se mencionan: aserrín verde (41%), tira (34%), corteza o costera (16%) y despunte (palo de escoba, 9%).

Maquinaria y equipo utilizado en el aserradero:

- BARTON SCB1100, de procedencia: Pontevedra, España
- Transfer de entrada de trozos, motor de 4hp.
- Descortezadora B90, motor de 100hp.
- Carro porta troncos CPT2A2, con accionamiento neumático y desplazamiento eléctrico y potencia de 4hp. Alineador láser.
- Sierra cinta vertical SCB1500, aserrado monocorte o bicorte, controlado desde mandos electrónicos, potencia de motor de 125 hp.
- Transfer a la canteadora, potencia de 2hp.
- Canteadora o desorilladora CRBB120, equipada con panel de control, velocidad de alimentación de aproximadamente 0-60m/min, potencia 50hp.
- Retestadora o cabeceadora RRB-3/3000, alimentación automática para corte transversal, potencia de 7,5hp.
- Banda para evacuación de leña, potencia de 2hp.
- Banda para evacuación de tacos de la retestadora, potencia de 2hp.

Figura 27. Proceso de producción de la madera aserrada



Fuente: Elaboración propia con base a visitas a la UCFAS

A fin de tener una idea más concreta del proceso de aserrío de madera en rollo a continuación se presentan algunas imágenes (Figura 28).

Figura 28. Proceso de producción de madera aserrada en la UCFAS



Fuente: Imágenes tomadas por PRM, UCFAS, 2010

Secado de madera

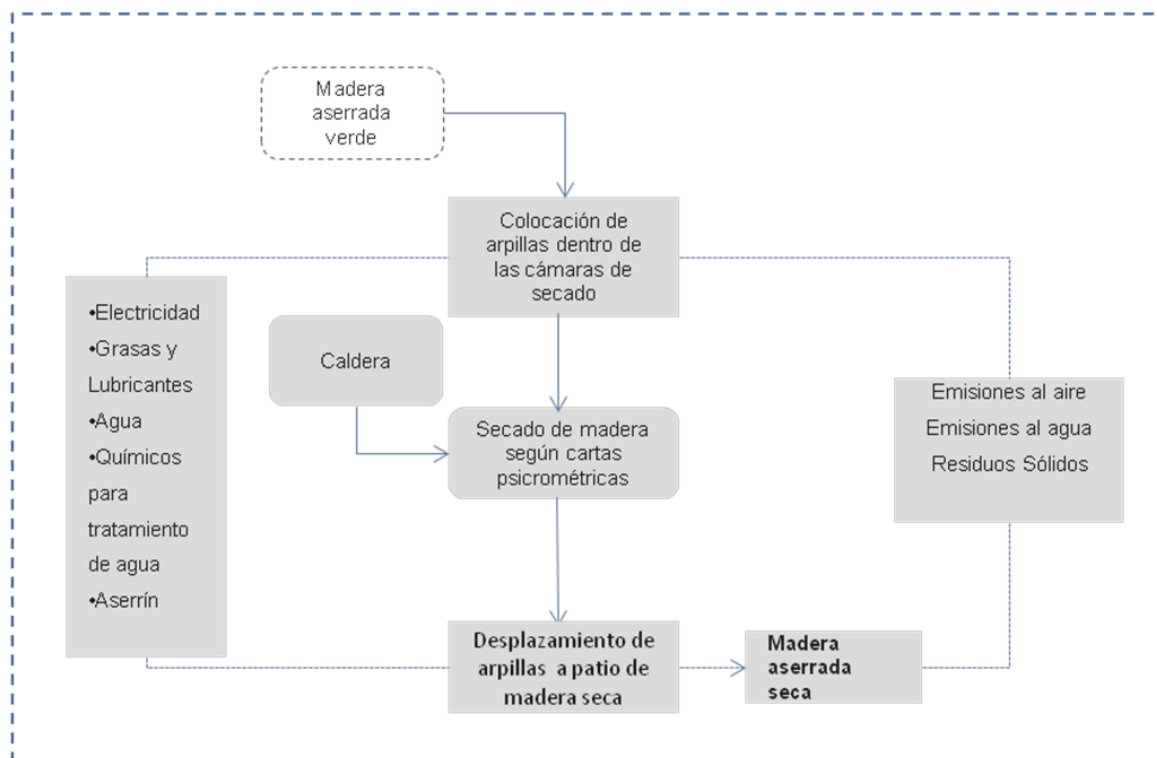
- El siguiente proceso comienza con la colocación de arpillas de madera verde dentro de las cámaras, las arpillas deben ser colocadas de manera que el aire fluya sin cortes de flujo, razón por la que se colocan bastones de madera en espacios alineados entre si y entre tablas (lo que se conoce como estriado) a fin de facilitar la libre circulación de las corrientes de aire entre las piezas cargadas en la cámara.
- El proceso del secado, comienza una vez que la cámara ha sido cargada con las arpillas, se cierran las compuertas y comienza el calentamiento del equipo, a razón de 2° C a 4° C por hora aproximadamente hasta alcanzar 65°C. Aquí se integra el concepto de programa u horario de secado, obtenido a partir de cartas psicrométricas de cada cámara, donde se especifican los tiempos de secado en función de la densidad, humedad y grosor de la madera.
- El monitoreo de la humedad de la madera es a través de sensores colocados en las tablas y conectados a un software que avanza o retrasa las fases de secado en función de la humedad detectada, la madera queda lista para el siguiente proceso cuando se alcanza la humedad deseada que es de 8 a 12%. El tiempo promedio de secado de las especies de madera procesadas en la UCFAS es de 7 a 8 días.
- Finaliza este proceso con el transporte de la madera seca hacia el almacén de madera seca con capacidad de 212 m³, donde servirá como insumo para la fabricación de muebles en su mayor proporción en calidad de: cuarta, cuarta picada y quinta ya que la madera clasificada con mayor calidad es vendida (Figura 29).

Maquinaria y equipo utilizado en el secado:

- Cámara de secado marca NARDI: capacidad de 600 pt (143 m³)
- Chimenea, motor de 3hp.
- Contener de aserrín, motor de 2hp
- Bomba de agua, motor de 2hp
- Recirculación de agua, motor de 1,5hp
- Spray, motor de 1 hp
- Ventiladores, 12 motores de 3hp
- Deflectores, motor de 1,5 hp

- 2 Cámaras de secado marca SECEA: capacidad de 20, 200 pt (47 m³)
 - Chimenea, motor de 3hp.
 - Contener de aserrín, motor de 2hp
 - Bomba de agua, motor de 5hp para ambas
 - Recirculación de agua, motor de 5hp para ambas
 - Spray, motor de 0,5 hp para cada una
 - Ventiladores, 6 motores de 7,5hp
 - Deflectores, motor de 1,5 hp
- Caldera Uniconfort CMT/F-200 de acero de 3-4 revoluciones de humo para la producción de agua caliente a +95°C, con alimentación automática a base de residuos de madera, virutas, aserrín, colainas, briquetas, gasóleo, gas, etc. potencia térmica de 2.730 kW.

Figura 29. Proceso de secado de madera en la UCFAS



Fuente: Elaboración propia en base a visitas a la UCFAS 2010.

Con el objetivo de tener una idea más concreta del proceso de secado o estufado de madera húmeda, a continuación se presentan algunas imágenes (Figura 30).

Figura 30. Proceso de secado de madera en estufas en la UCFAS



Fuente: Imágenes tomadas por PRM, UCFAS, 2010

Flujo de materiales

Los materiales considerados en el inventario de ciclo de vida para la producción de madera aserrada seca se presentan (Tabla 17), el análisis de todos los flujos de madera en el proceso fueron determinados sobre una base de peso seco. La información que proporcionó el personal de UCFAS fue dado bajo la escala de Scribner (Briggs, 1994) (se reportaron pies tablares - pt y se convirtieron a metros cúbicos - m³). La madera que ingresa a proceso se calculó en base al supuesto que 1m³ tiene una densidad media en peso seco de 516 kg/m³.

Tabla 17. Relación de entradas y salidas para el proceso de producción de 1m³ de madera aserrada seca

Proceso	Entradas		Salida	Co-producto
	Equipo, herramientas	Material		
Aserrío	Transfer de entrada Descortezadora Torre de sierra vertical Canteadora Retestadora	Electricidad, grasas, gasolina Lubricantes	Tabla aserrada verde	Costera o corteza, Tira Despunte (leña) Aserrín
Secado	Cargador frontal Estufas Caldera	Madera verde apilada Diesel Aserrín 50%ch Agua Electricidad*	Madera aserrada estufada	

Fuente: Elaboración propia con base a información de la UCFAS

Trasporte

La entrega de trozo es realizada por camión, se hace uso de camiones tipo torton de 17 toneladas. Las cargas ambientales para el transporte de trozo desde el lugar de aprovechamiento hasta el aserrado de madera son incluidas en este ICV. La distancia media unidireccional fue de 20 km

desde la zona del aprovechamiento hasta el aserradero, se consideran solo las cargas ambientales del camión de ida con carga y regreso sin carga.

Cabe mencionar que cada año la distancia desde la zona de aprovechamiento hasta el aserradero es diferente ya que según lo establecido en su programa de aprovechamiento anual, la zona de aprovechamiento es distinta.

Para el transporte interno se calcularon las distancias promedio dentro de la UCFAS para el aserrío, las estufas de secado y la fábrica de muebles o producto final y se usan transportadores frontales de carga. Es excluido el transporte cuando el producto es vendido desde esta parte del proceso, además se excluye también el transporte de los materiales complementarios como grasas, lubricantes para el mantenimiento de las máquinas y herramientas (Tabla 18).

Tabla 18. Tipo de transporte para materia prima

Descripción	Unidades	Combustible
<i>Camión carga tipo torton</i>		
Capacidad de camión de carga	17 Ton	Diesel
Distancia de Aprovechamiento a UCFAS	20 km	
<i>Cargador de carga frontal</i>		
Capacidad de pala	1.5 m ³ -3.5 m ³	Diesel
Distancia promedio entre procesos unitarios	0,4 km	

Fuente: UCFAS, 2010

Densidad

La densidad es la relación entre el peso de la madera (expresada en g) y su volumen (expresado en cm³). Dos factores que afectan el peso de los productos de madera son la densidad y el contenido de humedad. El contenido de agua en la madera es variable dependiendo de las especies. El contenido de humedad compensa gran parte del peso de la madera es por eso que se debe determinar a menudo la base de contenido de humedad (Forest Products Laboratory, 1999).

Para estimar el peso de la madera se utiliza la gravedad específica como base de referencia estándar en lugar de la densidad; la gravedad específica es la relación entre la densidad de la madera y el agua a una temperatura determinada (4.4°), donde la densidad del agua es 1.0000 g/cm³. Para reducir la confusión introducida por la variable de contenido de humedad, la gravedad específica de la madera usualmente está basada en el contenido del peso secado al horno y el volumen en algún contenido de humedad específico. Comúnmente se usan bases para determinar la gravedad específica sobre peso seco y volumen: verde, seco en horno y contenido de humedad al 12% (Forest Products Laboratory, 1999).

La entrada de los trozos es calculada en volumen de peso verde y las salidas de los productos son calculados en base a volumen de peso seco. Esto significa que ambas gravedades específicas verdes y secas son determinadas para la mezcla de las especies de madera. En seguida se presenta la lista de especies de madera aprovechadas, gravedades específicas, y porcentajes de uso reportado por la UCFAS (Tabla 19).

La entrada del volumen de trozos se determinó con datos de la escala Scribner considerando la conversión de ft³ a m³ por el factor de conversión apropiado dado por (Briggs, 1994). La conversión final fue hecha desde volumen a masa (kg) multiplicando por la densidad promedio ponderado de las distintas especies de madera y las densidades de estas especies a lo dispuesto en el Wood Handbook (Forest Products Laboratory, 1999) y datos obtenidos según (Rodríguez, 2012).

El valor de la densidad (ρ) fue determinado bajo la siguiente fórmula (Forest Products Laboratory, 1999).

$$\rho = 1000 (G_m (1 + M/100)) \quad (\text{kg/m}^3)$$

Donde:

G_m= gravedad específica en base al volumen de contenido de humedad (Rodríguez, 2012)

M= contenido de humedad en la madera

El peso promedio de la densidad se obtuvo a partir de:

$$\rho \text{ promedio} = U\rho/100$$

Donde:

U= es el porcentaje de uso de la especie de madera

ρ = valor de la densidad por especie

Tabla 19. Densidad promedio de las especies de madera utilizadas, para el cálculo de masa de madera en rollo con gravedad específica verde

Especies de madera ¹	Gravedad específica verde ²	uso ³	Densidad ⁴	Peso promedio de la densidad
			kg/m ³	kg/m ³
<i>Pinus patula schl. Et cham</i>	1.14	40	1,596	638
<i>Pinus oaxacana -pseudostrobus lindl.</i>	1.11	40	1,554	622
<i>Pinus ayacahuite ehren.</i>	1.01	20	1,414	283
	1.09	100%	1,521	1,543

¹ Especies de maderas aprovechadas en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

² Gravedad específica verde. Contenido de humedad > 30%. Valores calculados según (Rodríguez, 2012)

³ Porcentaje de entradas a producción

⁴ Datos obtenidos según el Wood Handbook (Forest Products Laboratory, 1999)

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos en la UCFAS (2010) y cálculos según Forest Products Laboratory, (1999); Rodríguez, (2012)

Tabla 20. Densidad promedio de las especies de madera utilizadas, para el cálculo de masa de madera en rollo con gravedad específica seca

Especies de madera ¹	Gravedad específica 8% ch ²	uso ³	Densidad ⁴ kg/m ³	Peso promedio de la densidad kg/m ³
<i>Pinus patula schl. Et cham</i>	0.50	40	540	216
<i>Pinus oaxacana -pseudostrobus lindl.</i>	0.47	40	508	203
<i>Pinus ayacahuite ehren.</i>	0.45	20	486	97
	0.47	100%	511	516

¹ Especies de maderas aprovechadas en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

² Gravedad específica (secado en estufa considerando un 8% ±2 de Contenido de Humedad). Valores calculados según (Rodríguez, 2012)

³ Porcentaje de entradas a producción

⁴ Datos obtenidos según el Wood Handbook (Forest Products Laboratory, 1999)

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos en la UCFAS (2010) y cálculos según Forest Products Laboratory, (1999); Rodríguez, (2012)

Se obtuvo un promedio de gravedad específica verde de 1.09 para la madera en rollo con un contenido de humedad (CH) >30% ya que la madera en rollo contiene grandes cantidades de agua; para la madera estufada se consideró un CH de 8 %, esto debido a que en el proceso de secado se logra reducir a este grado la humedad, obteniendo como promedio de gravedad específica de 0.47, con un promedio ponderado de densidad de 516 kg/m³ (peso seco) (Tabla 20).

Rendimiento del producto

El balance de flujo de masa de la madera en rollo con corteza se presenta en la Tabla 21. La eficiencia de recuperación de 1m³ del producto primario (madera aserrada estufada) fue del 52%, desde 1.924 m³ (993 kg/m³) de madera en rollo con corteza (92% de madera, 8% corteza), esto comparado con estudios realizados por (Milota, et al., 2006) donde la eficiencia de recuperación es del 56.8% de la madera en el Oeste y de 48.9% en el Sur de E.U., considerando un balance de peso seco indica que la UCFAS se encuentra dentro de un aprovechamiento estándar. La producción de aserrín (verde) es el co-producto más grande de la producción con 196 kg o el 20%, y las tiras con 157 kg o 16%. Aproximadamente el 50% de aserrín verde es enviado a la caldera para el secado el resto es enviado al vertedero, esto según comunicaciones del personal de la UCFAS.

El volumen real de las trozas se determinó bajo la siguiente fórmula de Smalian (Briggs, 1994).

$$V_1 = f (ds^2 + dl^2) L/2$$

Donde:

V_1 = volumen bruto del trozo (m^3)

$f = 0.00007854$ (sistema métrico)

ds = diámetro de la sección pequeña del trozo (cm)

dl = diámetro de la sección mayor del trozo (cm)

L = longitud del trozo (m)

El porcentaje de aprovechamiento se estimó por volumen de producción, es decir considerando el volumen real del trozo que entra (m^3) dividido entre el volumen de tablas obtenidas en pies tablares (pt), además fue verificado con respecto a los reportes de volumen de producción de la UCFAS.

$$\% Ap = V_1/V_o \times 100$$

Donde:

$\% Ap$ = porcentaje de aprovechamiento de madera

V_1 = volumen real de trozo (m^3)

V_o = volumen obtenido de tablas (pt)

Con respecto a los co-productos como la corteza, las tiras y los despuntes se realizó la estimación de acuerdo a su cubicación, considerando la siguiente fórmula:

$$V_2 = a * l * h * fe$$

Donde:

V_2 = volumen de residuo (m^3)

a = ancho del apilamiento del residuo (m)

l = longitud del residuo (m)

h = altura del residuo (m)

fe = factor de espacio (0.78)

Se realizó una estimación sobre la cantidad de aserrín obtenido, mediante la diferencia de volumen, es decir:

$$V_a = V_1 + V_2 - V_o$$

V_a = volumen de aserrín

V_1 = volumen real de trozo

V_2 = volumen de co-productos

V_o = volumen obtenido de tablas en pt

Finalmente los volúmenes son convertidos a masa mediante:

$$m = \rho * V$$

m = masa

ρ = densidad de la madera

V = volumen

Tabla 21. Balance de masas, pesos en base seca 8% CH para la producción de madera aserrada seca

ENTRADAS		
Madera en rollo con corteza	993	kg/m ³
Trozo	912	kg/m ³
SALIDAS		
Madera aserrada seca	516	kg/m ³
Costera / corteza	81	kg/m ³
Tira ¹	157	kg/m ³
Despunte ²	43	kg/m ³
Aserrín ³	196	kg/m ³
TOTAL DE SALIDAS	993	kg/m³

¹ Co producto para producción de palo de escoba y separadores- se excluye de los límites del sistema

² Co producto (leña) - se excluye del sistema

³ Co producto usado como combustible para la caldera en el proceso de secado

Fuente: Elaboración propia con base a cálculos obtenidos con información de la UCFAS

Método de asignación

El método de asignación es utilizado para dividir la carga ambiental de un proceso cuando varios productos o funciones comparten el mismo proceso. Se consideró la asignación física de masa entre las entradas y salidas del sistema de producción de madera aserrada y los co-productos como: aserrín verde, corteza, tira y despunte, esta asignación fue en base a las cantidades de producción del periodo considerado.

En el caso del aserrín verde el 50% se usa para la mezcla de combustible de la caldera en el proceso de secado de madera, los demás co-productos son vendidos y se excluyen del sistema.

Contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera se define como el peso de agua en la madera expresada como una fracción, generalmente en porcentaje del peso de la madera seca en horno. El peso, la contracción, la fuerza y otras propiedades dependen del contenido de humedad de la madera. En

los árboles, el contenido de humedad puede variar de aproximadamente 30% a más del 200% del peso de la madera. En las maderas blandas, el contenido de humedad de la albura es generalmente mayor que la de duramen. En las maderas duras, la diferencia en el contenido de humedad entre el duramen y la albura depende de la especie (Forest Products Laboratory, 1999).

El contenido de humedad de las especies incluidas dentro del presente análisis fueron consideradas según (Rodríguez, 2012); se asumió el contenido de humedad verde para el aserrín que sirve como combustible en la caldera con un 50% de humedad (Milota et al., 2006) ya que se realiza una mezcla de aserrín verde obtenido desde el aserrío con aserrín seco obtenido desde el proceso de cepillado de los tableros y el producto final.

Consumo de agua

El consumo de agua es solamente para la caldera en el secado de madera, para determinar la cantidad de agua por m³, se consideraron las características de la caldera (Tabla 22), así como el valor de referencia de 9l/100 lb (90l/45 kg) (Milota et al., 2006).

Tabla 22. Características de la caldera para el secado de 1m³ de madera verde

Características	Unidades
Peso de caldera y agua	11, 550 kg
Peso alimentador	980 kg
Contenido de agua	3700 L
Potencia producida	800 000 kcal/h
Presión de funcionamiento normal	2 bar
Flujo de humos 250°C	550 kg/h

Fuente: UCFAS, 2010

Consumo de energía

La energía para la producción de madera aserrada seca proviene de electricidad y combustible de madera (aserrín) para la caldera en el secado de la madera. La electricidad es usada en todos los procesos desde el aserrío (descortezadora, sierra, retestadora, canteadora, bandas transportadoras, ventiladores, bombas hidráulicas y demás equipos complementarios, para el caso del proceso de secado, el consumo de electricidad es para los equipos de hardware para el control de temperaturas, sensores de humedad, así como ventiladores y demás equipos accesorios.

La referencia del consumo de electricidad por proceso fue proporcionada por el personal de la UCFAS ya que se encuentra asignado en cuanto costos de producción y consumo, para el caso del presente análisis solo se consideraron las áreas propias del proceso de producción. Se determinó que para procesar 1.924 m³ de madera en rollo y obtener 1m³ de madera aserrada se necesita de 32.11 kWh (115.6 MJ) de electricidad, y para el secado además de la energía térmica en las calderas, se necesita de 31.34 kWh (112.34 MJ) de energía eléctrica para secar 1 m³ de madera aserrada verde, esto comparado con el análisis de Milota et al., (2006) que para el aserrío en el Oeste de USA se necesita de 86.8 kWh y para el Sur de 67.9kWh y para el secado en el Oeste fue de 27.8 kWh y el Sur 37.7 kWh nos indica que la UCFAS se encuentra por dentro del estándar de consumo de electricidad en estos procesos ya que la unidad funcional de las empresas de USA es casi el doble que en la UCFAS (Tabla 23).

Tabla 23. Distribución de electricidad por proceso para producir 1m³ de madera aserrada

Proceso	kWh/m ³	MJ/m ³
Aserrío	32.11	115.6
Secado	<u>31.34</u>	<u>112.34</u>
	63.45	227.9

Fuente: UCFAS, 2010

La energía interna es considerada como la energía aprovechada dentro del lugar para la producción de madera asignada a 1m³ de madera aserrada. Esta energía además de la eléctrica esta en forma de diesel y aserrín de madera. La energía requerida para producir estos

combustibles y su entrega para los procesos se encuentra excluida dentro de los límites del sistema.

También se consideran los lubricantes y grasas que se usan para el mantenimiento de los equipos y maquinas para estos procesos.

Tabla 24. Poder calorífico de combustibles

Combustible	Poder calorífico Inferior
Diesel ¹	10,700 kcal/kg
Gasolina ¹	11,300 kcal/kg
Aserrín de pino ²	5,535 kcal/kg
Aserrín de encino ²	4,825 kcal/kg
Mezcla de aserrín ³	3,348 kcal/kg

Fuente: ¹ CONUEE (2009) , ² Meléndez & De Torres, (2011), ³ ANEXO 6

La energía acumulada se define como la energía total del combustible (producción y combustión) asignada para la producción de 1m³ de madera seca, esto incluye las cargas ambientales *de la cuna a la puerta* asociadas a la producción de los combustibles (aserrín) para el secado de madera verde. Los valores de consumo de energía se han determinado con el poder calorífico dado (Tabla 24). Así también se presentan los requerimientos de energía acumulada que se incluyen dentro del sistema (Tabla 25).

Tabla 25. Energía acumulada de electricidad y combustibles para la producción de 1m³ de madera aserrada seca

Energía	Unidad	Aserrío	Secado	Total
Electricidad	kWh/m ³	32.11	31.34	63.45
	MJ/m ³	115.6	112.82	228.42
Aserrín	kg/m ³	-	202.52	202.52
	MJ/m ³		729.07	729.07

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos en la UCFAS

Fuentes de energía

Es importante identificar las fuentes de energía para la generación de electricidad y combustibles que sirven para alimentar el proceso de fabricación ya que nos ayudan a determinar el tipo y cantidad de impacto en el LCA. Se consideraron datos de la Secretaría de Energía (SENER, 2013) de México, donde la principal fuente de energía fue el petróleo con 66%, seguida del gas natural con un 23%, a partir de estos datos se generó un proceso de entrada para considerar el mix eléctrico mexicano en la realización del análisis en el SimaPro (Tabla 26).

Tabla 26. Fuentes de energía primaria de la industria eléctrica en México en el año 2011

Fuente	Porcentaje
Petróleo	66%
Gas natural	23%
Nuclear	1%
Carbón	3%
Renovables	7%

Fuente: (SENER, 2013)

La energía eléctrica acumulada hasta este momento el proceso de aserrío y secado asignado a 1m^3 (516 kg) es de $63.45\text{kWh}/\text{m}^3$ ($228.42\text{MJ}/\text{m}^3$) (Tabla 25).

Uso de combustible como fuente de calor

Con respecto al combustible para producir energía en la caldera en el proceso de secado de madera se usa 100% aserrín, se toma como referencia la cuantificación considerada por (Milota et al., 2006) ya que en la UCFAS considera una mezcla de 50% aserrín verde generado en el proceso de aserrío y 50% de aserrín seco generado en el cepillado de tableros y productos finales, asumiendo por lo tanto un 50% de CH (peso húmedo) de la mezcla, donde 1 kg de la mezcla produce 3.89 kWh (14.02 MJ) de energía y 2.73 kWh (9.81 MJ) de vapor con una eficiencia del 70% y con respecto a (Milota et al., 2006; Wilén, et al., 1996) que 1kg de una mezcla de proporciones iguales de aserrín producen 20.8 MJ de energía y producen 13.9 MJ de vapor con una eficiencia térmica del 67%, esto nos indica que la mezcla de aserrín usada en la UCFAS produce menos energía, sin embargo la energía producida depende de las especies de la madera además de la cantidad de aserrín seco integrado ya que el aserrín seco tiene la capacidad de producir mayor energía. Por lo tanto para el caso de la UCFAS se necesita de 203 kg de mezcla de combustible (peso seco) para secar 1 m^3 de madera verde o 406 kg de mezcla (peso húmedo) para producir $788.47\text{ kWh}/\text{m}^3$ ($2,838\text{ MJ}/\text{m}^3$) de energía calorífica, ésta determinación se realizó considerando las características de la caldera, el poder calorífico de la mezcla de aserrín y su contenido de humedad (Tabla 27). Para mayor detalle ver el ANEXO 6.

Tabla 27. Mezcla de combustible en caldera para producir energía para secar 1 m³ de madera aserrada verde

Tipo de combustible	Unidades	Valor	Energía
Aserrín (kg)	kWh/m ³	203 ¹	788.47 ²
	MJ/m ³		2,838 ²

¹ Peso seco

² Peso de combustible multiplicado por el poder calorífico de la mezcla 14,02MJ/kg (3,89KWh) con un 70% de eficiencia.

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos en la UCFAS

4.7.2. Método práctico del ACV en el proceso de producción del tablero alistonado finger joint

Objetivo y alcance

Identificar y cuantificar las entradas y salidas del proceso de producción del tablero finger joint, desde una perspectiva de ciclo de vida, para detectar los puntos débiles del proceso de producción y mejorar el desempeño ambiental.

Función del sistema

El tablero finger joint cumple la función como materia prima para muebles escolares y del hogar.

Unidad funcional

Se considera 1m^3 de tablero finger joint, con una densidad de 516 kg/m^3 y contenido de humedad ~8%.

Límites del sistema

Se incluye todos los flujos de energía, combustible, entrada-salida y producción de materias primas en el proceso del tablero finger joint. El límite del sistema en el sitio incluye sólo aquellas cargas generadas en el lugar de las instalaciones de fabricación.

Se considera el horizonte temporal de los años 2010-2011.

Se excluye del sistema las cargas ambientales relativas a la producción de maquinaria e infraestructuras necesarias de los procesos.

Se excluye del sistema la producción y transporte de electricidad, combustibles y demás materiales que sirven como complemento para la producción, además de la comercialización del producto desde esta etapa del proceso.

Requisitos de calidad de los datos

Los datos han sido recopilados de la UCFAS, se han considerado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía son importantes. Para los procesos en los cuales no se dispuso de datos primarios se ha recurrido a fuentes de datos ya publicados, así mismo los datos publicados han servido como validación de los datos primarios recogidos.

Se hizo uso del software SimaPro v.8 para incluir los procesos comunes como materiales químicos, combustibles, que se encuentran integrados en la bases de datos ecoinvent y USLCI.

Análisis del Inventario del proceso de producción del tablero finger joint

Descripción del sistema bajo estudio

El proceso de producción inicia con la entrada de madera seca a la fábrica, esta madera viene previamente clasificada por 3ª y 4ª calidad, para ser fraccionada en pequeños trozos y posteriormente ser reconstituida en un tablero finger joint (Figura 31, 32)

Habilitado: Se inicia con el dimensionado o corte de piezas a lo ancho, este corte se realiza considerando el aprovechamiento máximo de madera, el corte es paralelo a cada pieza para obtener tiras. Las tiras obtenidas se dimensionan por largos y eliminan los nudos o defectos que tenga la madera, las longitudes de las tiras son variables ya que en esta operación se considera también el aprovechar al máximo la madera y que el rendimiento sea óptimo.

Clasificación: Las piezas son clasificadas por tonos y tamaños, las piezas de mayor longitud serán utilizadas como componentes de muebles donde las piezas requieran ser de mayor longitud (patas de mesa o silla), las piezas pequeñas se envían a la línea de empalmado.

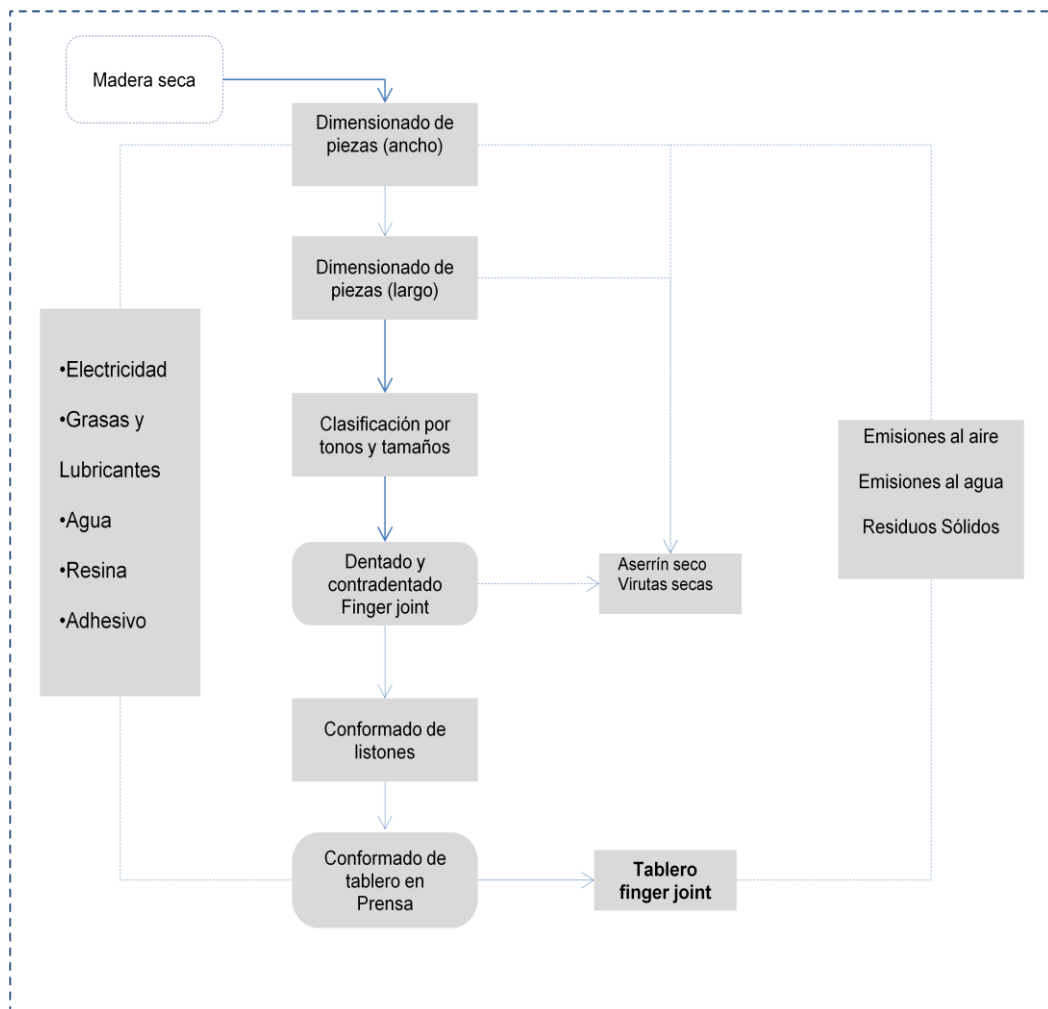
Empalmado: La línea de empalmado o finger joint (fj), realiza el dentado y contradentado de las piezas para unir las a través de testas y mantener la resistencia de la unión mediante adhesivo, para obtener un listón perfectamente unido. Estos listones son enviados a la molduradora donde son preparados los cantos para su posterior unión.

Conformado: Los listones son colocados en la encoladora para la unión de listones en la prensa, se fijan las uniones y se obtiene el tablero; como entradas se estima *madera estufada, adhesivos, resinas, electricidad, grasas y lubricantes*, como salidas además del *tablero conformado* se incluye *el aserrín*, y emisiones al aire.

Máquinas y equipo utilizado en el proceso del tablero fj:

- Sierra múltihojas CML J350- Serie 7503
- Ingletadoras DEWALT 10" DW713.
- Finger joint OMGA FJL150M- Mod. 180SA, Serie 4.046 31 kW
- Molduradora Weining U23E- Mod. 23EL, 50 kW, N° Maq. 98988
- Encoladora OMGA FJ180SA
- Prensa Enlistonado BAIONI - Mod. LYST30/13 25 kW Serie 02900122

Figura 31. Proceso de producción del tablero finger joint



Fuente: Elaboración propia con base a datos de la UCFAS

Figura 32. Proceso producción del tablero finger joint en la UCFAS



Fuente: Imágenes tomadas por PRM, UCFAS, 2010

Flujo de materiales

Los materiales considerados en el inventario de ciclo de vida para la producción de tablero finger joint se presentan en la Tabla 28, el análisis de todos los flujos de madera en el proceso fueron determinados sobre la unidad funcional de 1m³ de tablero terminado.

Tabla 28. Relación de entradas y salidas para el proceso de tablero finger joint

Proceso	Actividad	Entradas		Salida	Co-producto
		Equipo, herramientas	Material		
Tablero finger joint	Traslado de madera seca	Cargador frontal	Diesel	Madera seca	
	Dimensionado de tiras por anchos	Sierra múltiple	Electricidad, grasas, lubricantes	Tiras de madera	Aserrín
	Dimensionado de piezas por largos	Ingletadoras			
	Clasificación por tonos y tamaños	Finger joint	Adhesivo	Tiras dentadas	
	Dentado y contradentado finger joint				
	Conformado de listones	Molduladora	Resina	Listones de madera	
Conformado de tableros	Prensa		Tablero		

Fuente: Elaboración propia con base a información de la UCFAS

Trasporte

Sólo se considera el transporte desde el patio de madera estufada hasta la fábrica de muebles que es donde es fabricado el tablero, es excluido el transporte cuando el producto es vendido desde esta etapa del proceso, además se excluye también el transporte de los materiales como adhesivos, grasas, lubricantes para el mantenimiento de las máquinas y herramientas (Tabla 29).

Tabla 29. Tipo de transporte utilizado para la madera seca

Descripción	Unidades	Combustible
<i>Cargador de carga frontal</i>		
Capacidad de pala	1.5 m ³ -3.5 m ³	Diesel
Distancia promedio entre procesos unit	0.4 km	

Fuente: UCFAS, 2010

Rendimiento del producto

El balance de flujo de masa de la madera en rollo con corteza se presenta en la Tabla 30. La eficiencia de recuperación de 1m³ de tablero fj fue de 464 kg/m³ desde 993 kg/m³ de madera en rollo con corteza. La producción de aserrín (seco) que forma parte de la mezcla de combustible para la caldera en el proceso de secado, es el único co-producto con 52 kg/m³ desde este proceso.

Tabla 30. Balance de masas (pesos en base seca, 8%CH) para la producción de 1 m³ de tablero finger joint

Entradas		
Madera en rollo con corteza	993	kg/m ³
Trozo	917	kg/m ³
Madera aserrada seca	516	kg/m ³
Salidas		
Co-productos 1a transformación	477	kg/m ³
Tablero finger joint cepillado	464	kg/m ³
Aserrín seco ²	52	kg/m ³
Total de salidas	993	kg/m³

² Co producto usado como combustible para la caldera en el proceso de secado

Fuente: Elaboración propia

Consumo de energía

La energía para la producción de tablero fj proviene de electricidad. La electricidad es usada en todos los procesos, la mayoría de equipos y máquinas necesitan de energía eléctrica para su funcionamiento como sierras, ingletadoras, molduradora, encoladora, prensa, ventiladores, ductos de aserrín, entre otros (Tabla 31). Se consideró el diesel que es consumido por los transportadores de carga para el traslado de madera entre los diferentes procesos.

Para determinar el consumo de energía eléctrica, se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$Et = [Cen_1 * Tu + Cen_2 * Tu \dots]/U$$

Donde:

Et = energía total

Cen = consumo de energía de la máquina

Tu = tiempo de funcionamiento

U = unidades producidas

Tabla 31. Distribución de electricidad por proceso para producir 1m³ (514 kg) de tablero finger joint

Proceso	kWh/m ³	MJ/m ³
Aserrío	32.11	115.6
Secado	31.34	112.34
Finger joint	129.56	466.42

Fuente: UCFAS, 2010

La energía acumulada asignada para la producción de 1m³ de tablero finger joint se incluyen dentro del sistema (Tabla 32).

Tabla 32. Energía acumulada de electricidad y combustibles para la producción de 1m³ de tablero finger joint

Energía	Unidad	Aserrío	Secado	Finger joint	Total
Electricidad	kWh/m ³	32.11	31.34	129.56	193.01
	MJ/m ³	115.6	112.82	466.42	694.36
Aserrín	kg/m ³	-	202.52		202.52
	MJ/m ³		729.07		729.07

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos en la UCFAS

4.7.3. Método práctico del ACV en el proceso de producción del mueble escolar

Objetivo y alcance

El presente análisis tiene el objetivo identificar y cuantificar las entradas y salidas del proceso de producción de 1 kg de producto terminado, desde una perspectiva de ciclo de vida, para detectar los puntos débiles del proceso de producción del mueble escolar y mejorar el desempeño ambiental.

Función del sistema

El mueble escolar tiene la función de proporcionar comodidad y seguridad al usuario, permitiéndole moverse cómodamente sin crear congestión en ningún área.

Unidad funcional

La UCFAS produce muebles de madera en general, sin embargo en el presente análisis se consideró evaluar los productos de la línea escolar, que son fabricados en mayor volumen de producción debido a su alta demanda: mesa, silla, archivero, escritorio y locker.

Se ha considerado como unidad funcional 1kg de producto terminado.

Límites del sistema

Se incluye todos los flujos de energía, combustible, entrada-salida y producción de materias primas en el proceso de producción del mueble escolar (producción, terminado y embalaje). El límite del sistema en el sitio incluye sólo aquellas cargas generadas en el lugar de las instalaciones de fabricación (Figura 33).

Se considera el horizonte temporal de los años 2010-2011.

Se excluye del sistema las cargas ambientales relativas a la producción de maquinaria e infraestructuras necesarias de los procesos.

Se excluye del sistema la producción y transporte de electricidad, combustibles y demás materiales que sirven como complemento para la producción, además de la comercialización del producto desde esta etapa del proceso.

Requisitos de calidad de los datos

Los datos han sido recopilados de la UCFAS, se han considerado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía son importantes. Para los procesos en los cuales no se dispuso de datos primarios se ha recurrido a fuentes de datos ya publicados, así mismo los datos publicados han servido como validación de los datos primarios recogidos.

Se hizo uso del software SimaPro v.8 para incluir los procesos comunes como materiales químicos, combustibles, que se encuentran integrados en la bases de datos ecoinvent.

Análisis del inventario del proceso de producción del mueble escolar

Descripción del sistema bajo estudio

El proceso de producción inicia con la llegada de madera seca a la fábrica de muebles, junto con el tablero finger joint que sirven como materia prima en la producción de muebles escolares.

Muebles modulares y ensamble

Maquinado: Las operaciones no tienen un orden consecutivo, las piezas son preparadas para el posterior ensamblaje del producto final. Se realizan escoplos, espigas, molduras, perforaciones y calibración de las piezas, es así que el *lay out* de las instalaciones se encuentra organizado de manera modular para poder realizar las diferentes operaciones de manera simultánea evitando cuellos de botella (Figura 34).

Maquinaria utilizada:

- Escoplo PADE Tipo MDO S-4073
- Espigadora PADE Tipo SCD S-4612
- Taladro vertical TRUPER , motor 1,5hp
- Router vertical Chino T/RL-680- motor 2hp
- Trompo y lijadora de bandas CELA Serie LB9
- Calibradora COSTA A1CCC3-1350

Armado: se realiza el conformado de los muebles, existen dos tipos de muebles, el *mueble modular* que se compone de tablero y piezas de madera sólida, en este sitio se realiza el dimensionamiento del tablero según especificaciones del producto, finalmente se realiza el

montaje del tablero junto con las piezas de madera sólida y se conforma el mueble terminado. El otro tipo de *mueble es el de ensamble*, estos muebles están compuestos en su mayoría por madera sólida y solo se trata de piezas que necesitan prensado para su ensamble.

Maquinaria utilizada en el armado:

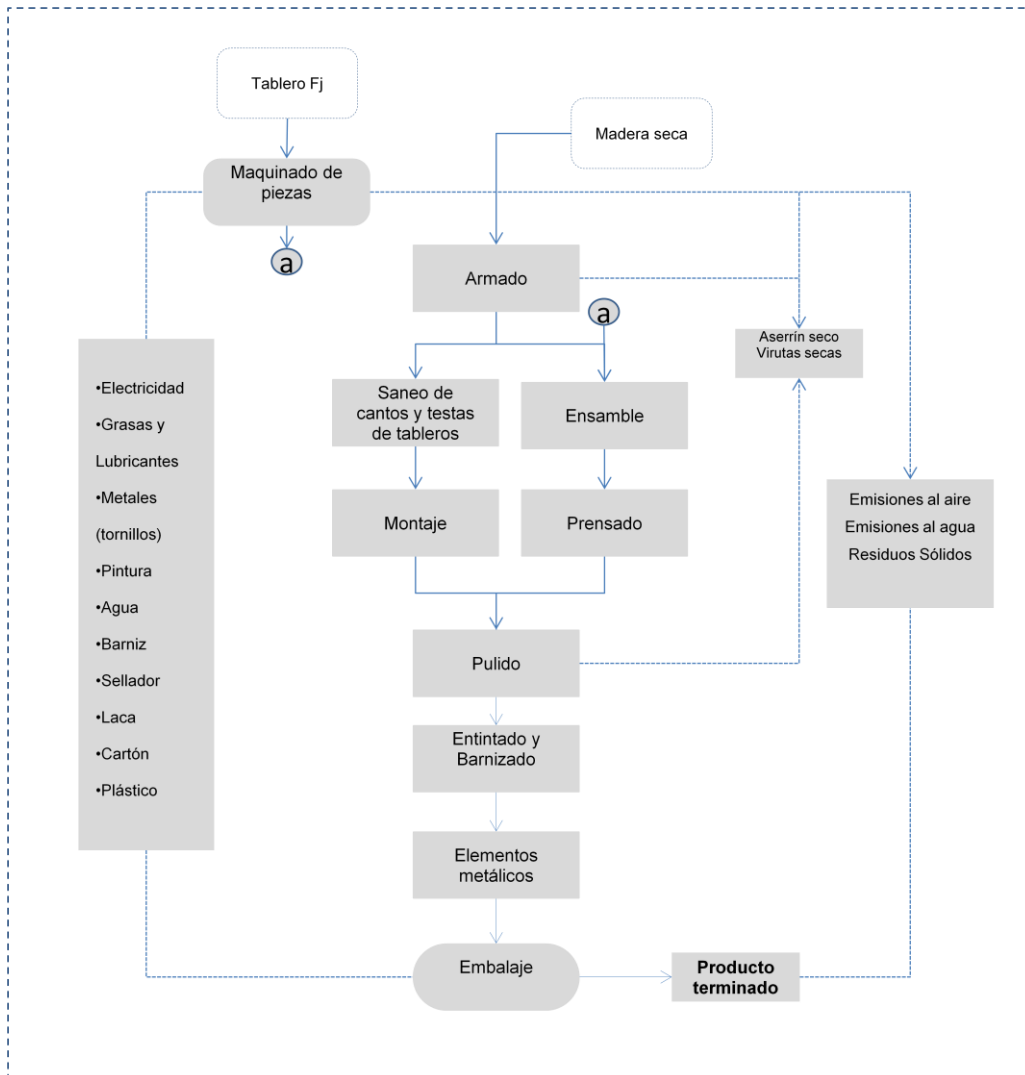
- Cortadora o brazo escuadrador ALTERNORF WA80, motor 5,5 kW
- Lijadora de banda COSTA SERIE A1
- Lijadora de banda TRUPER motor 3/4hp
- Prensa manual
- Prensa neumática con dos pistones FESTO DNCB-80-100-PPV-A
- Prensa hidráulica NARDI SPA CPZ-10

Acabado y Embalaje: se les da terminado final a los productos, como entintado, sellado, repulido y barnizado. Se coloca tapicería o herraje, según especificaciones del cliente, posteriormente los productos son embalados con film retráctil para su distribución a la zona de comercialización.

Maquinas utilizadas para el terminado del mueble:

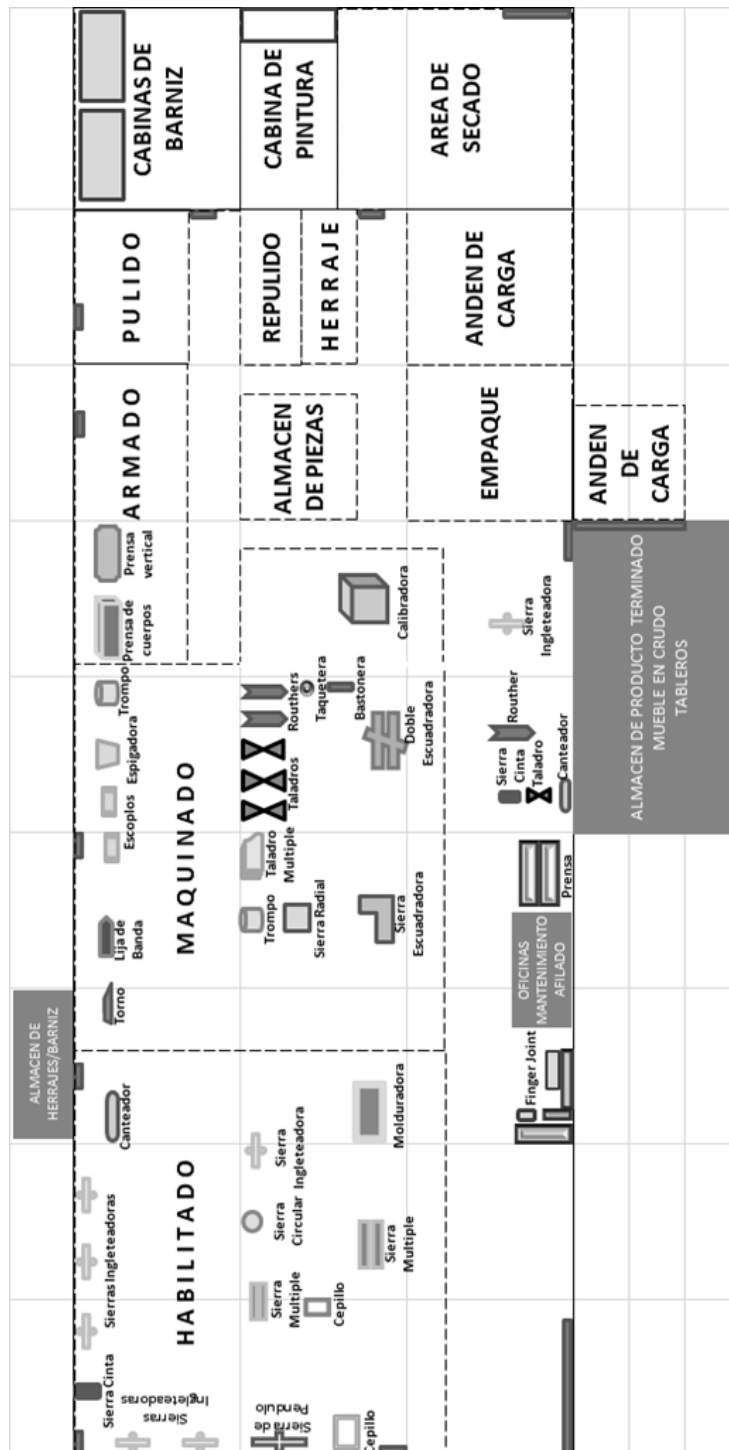
- Entintadora BARBERAN 50cm
- Equipo de barniz bomba y pistola Wagner Colora
- Pulidora Canto JoySander AK-108 - 3,5 hp
- Cortina de agua para barniz ZINCOVELO- ZAMT-3
- Sistema de extracción de ventiladores set VISSA
- Taladro neumático

Figura 33. Proceso de producción del mueble escolar en la UCFAS



Fuente: Elaboración propia en base a visitas a la UCFAS 2010.

Figura 34. Lay out de la fábrica de muebles en la UCFAS



Fuente: Proporcionado por Gerente de fábrica de muebles de la UCFAS, 2010

Las siguientes imágenes de la elaboración y terminado de muebles nos permiten visualizar el proceso de manera general (Figura 35, 36)

Figura 35. Elementos para ensamble (sup), Figura 36. Producción de muebles en la UCFAS (inf)



Fuente: Imágenes tomadas por PRM, UCFAS, 2010

Flujo de materiales

La entrada de materiales para todos los productos en el presente análisis básicamente es el mismo y solo se diferencian las cantidades, así como algunos materiales complementarios en el terminado final del producto como herrajes, tornillos, vidrio u otros materiales adicionales (Tabla 33). En seguida se presenta la lista general de las entradas y salidas para la producción del mueble escolar (Tabla 34).

Tabla 33. Características de los productos a analizar

Producto	Materiales	Peso	Dimensiones(cm)
Silla	Madera sólida, tornillos	14.55 kg	112.5 alto x 48.3 ancho
Mesa	Tablero fj y madera sólida, tornillos	8.31 kg	70 x 60 x 61
Locker	Madera sólida y tablero fj, chapa y herraje	28.87 kg	166 x 30 x 50
Archivero	Madera sólida y tablero fj, herraje	37.43 kg	137 x 51 x 60
Escritorio	Tablero fj y madera sólida	27.68 kg	120 x 70 x 50

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la UCFAS

Tabla 34. Relación de entradas y salidas para el proceso de muebles escolares

Proceso	Actividad	Entradas		Salida	Co-producto
		Equipo, Herramientas	Material		
Mueble escolar	Maquinado	Escopleadora Espigadora Taladro vertical Router vertical Cortadora o brazo escuadrador Lijadora de banda Prensa neumatica Prensa hidráulica Pistolas de aire Cabinas Flejadora	Electricidad,	Piezas listas para ensamblar	Aserrín
	Saneado y pulido		lubricantes,	Piezas libres de defectos	
	Armado		Clavos, tornillos,	Piezas ensambladas	
	Montaje		Barniz,		
	Barnizado		Pintura	Producto terminado	
			Polystrech 18"		
	Embalaje		Papel kraft	Producto embalado listo para embarque	

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la UCFAS

Trasporte

Se considera el transporte interno de las piezas a ensamblar dentro de la fábrica de muebles, es excluido el transporte cuando el producto final es embarcado a las tiendas de comercialización, así como también se excluye el transporte de los materiales para el terminado final de los productos.

Rendimiento del producto

Segunda transformación

El balance de flujo de masa de la madera seca en el proceso de cada uno de los productos de madera de la línea escolar en seguida se presenta (Tabla 35), se considera el peso total del mueble y el peso de tablero y madera seca utilizada.

Tabla 35. Balance de masas para la producción de productos escolares

Balance de masas (pesos en base seca, 8% CH) para la producción de una mesa escolar (8.31 kg)		Balance de masas (pesos en base seca, 8%CH) para la producción de un archivero (37.4 kg)	
Entradas		Entradas	
Tablero fj	4.0 kg	Tablero fj	24.0 kg
Madera aserrada seca	5.0 kg	Madera aserrada seca	16.0 kg
Salidas		Salidas	
Mesa escolar (primaria)	8.31 kg	Archivero	37,4 kg
Aserrín	0.63 kg	Aserrín	1.5 kg
Total salidas	8.94 kg	Total salidas	39.4 kg
Balance de masas (pesos en base seca, 8% CH) para la producción de una silla escolar (14.5 kg)		Balance de masas (pesos en base seca, 8%CH) para la producción de un locker escolar (28.8 kg)	
Entradas		Entradas	
Madera aserrada seca	15.0 kg	Madera aserrada seca	5.0 kg
Salidas		Salidas	
Silla escolar	14.5kg	Tablero fj	25.0 kg
Aserrín	0.6 kg	Locker	28.8 kg
Total salidas	15.0 kg	Total salidas	30.0kg
Balance de masas (pesos en base seca, 8% CH) para la producción de un escritorio escolar (27.6 kg)			
Entradas			
Madera aserrada seca	21 kg		
Tablero fj	8 kg		
Salidas			
Escritorio	27.6 kg		
Aserrín	0.6 kg		
Total salidas	29 kg		

Fuente: Elaboración propia con base a cálculos obtenidos con información de la UCFAS

Consumo de energía

La energía para la producción de cada mueble proviene de electricidad, ya que es usada para los equipos y máquinas para su funcionamiento, como es el caso de escopleadoras, espigadoras, taladros, routers, cortadoras, lijadoras, prensas, cabinas, flejadoras, etc. (Tabla 36).

Para determinar el consumo de energía eléctrica, se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$Et = [Cen_1 * Tu + Cen_2 * Tu \dots]/U$$

Donde:

Et = energía total

Cen₁ = consumo de energía de la máquina n

Tu = tiempo de funcionamiento

U = unidades producidas

Tabla 36. Energía eléctrica necesaria para producir un mueble escolar

Producto	kWh
Mesa escolar	56
Archivero	25
Silla escolar	10
Locker	20
Escritorio	18

Fuente: Elaboración propia con base a cálculos obtenidos con información de la UCFAS

4.8. A modo de síntesis

En el capítulo IV se presenta la metodología seguida en la investigación, el diseño de caso que nos permite conocer el objetivo de investigación de manera detallada, bajo las características del estudio a profundidad de la unidad a investigar, además de la recopilación de información básica. Es importante mencionar que los resultados obtenidos en este tipo de investigación no son generalizables de manera estadística sino más bien de manera analítica.

El diseño del estudio de caso inicia con las interrogantes ¿cómo? y ¿por qué? mismas que son el origen de la investigación y que servirán como referencia para la recolección de datos. A partir de estas interrogantes se planea el procedimiento metodológico a seguir durante la investigación.

Se establecen las preguntas de investigación, así como se plantean las hipótesis que han sido el punto de partida de la presente investigación. Se considera la empresa forestal comunitaria UCFAS como unidad de análisis a investigar, además de considerar el estudio longitudinal y del tipo exploratorio-descriptivo y la aplicación del ACV simplificado ya que es un análisis relativamente nuevo en el sector de la madera y el mueble en el medio rural. Se construyen las técnicas de recopilación de información, para establecer el cumplimiento de triangulación de información, entre las que se encuentran, el cuestionario, observaciones directas estructuradas utilizando recursos auxiliares, además de la recolección de diferentes reportes que han permitido elaborar múltiples diagramas de proceso y cálculo de datos para la generación de inventarios. Se considera también la validez y fiabilidad de los métodos utilizados de la obtención de resultados, mediante la validez de construcción, la validez externa y la fiabilidad.

La metodología de ACV se presenta como opción viable para evaluar los procesos productivos durante la primera y segunda transformación de la madera en la UCFAS con un análisis *puerta a puerta* bajo las directrices de la ISO 14044 y CORRIM. Los límites del sistema abarcan el proceso de producción de la madera considerando la primera transformación: aserrío y secado en estufas y segunda transformación: fabricación de tablero, fabricación de muebles y embalaje del producto, excluyendo del sistema el proceso de silvicultura, la fabricación de materiales complementarios, la producción de combustibles y la comercialización.

CAPITULO V. RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el ACV de los procesos de la primera transformación de la madera: madera aserrada seca y segunda transformación: tablero finger joint y mueble escolar; se ejemplifican diagramas de proceso e ilustraciones considerando las entradas y salidas, se suponen procesos unitarios para mayor detalle; se presenta el análisis de resultados de manera general, así como la estructura del modelo establecido por el software *SimaPro* v.8. Así mismo se plantean diferentes posibles oportunidades de competitividad de la UCFAS para alcanzar la innovación sustentable.

5.1. Evaluación e Interpretación del impacto del ciclo de vida; proceso de producción de madera aserrada seca

En el presente análisis se incluye las etapas de clasificación y caracterización de impactos definida por la (ISO 14044, 2006), se excluyen las etapas opcionales como la normalización, agrupación y valorización ya que no existen datos específicos para la región analizada.

El software *SimaPro* v.8. desarrollado por PRé Consultans se utilizó para el presente análisis, y se consideró el método de impacto TRACI conforme lo sugiere el Product Category Rules, (2011) además de las categorías de impacto como: calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación, eutrofización y smog potencial, ya que proporcionan indicadores generales, cuantificables de los impactos potenciales en los productos de madera; es así que se consideran estas categorías a excepción de la de formación de oxidantes fotoquímicos debido a que el método TRACI 2 v3.03 no la incluye.

Se hizo uso de la base de datos ecoinvent, considerando los procesos de los materiales, productos químicos, combustibles, energía y electricidad, se seleccionaron los datos de tipo [RoW] *rest of the world* que corresponden a datos del resto del mundo y [GLO] *global* que corresponden con datos globales.

Se incorporaron los datos al software en procesos unitarios: aserrado y secado de madera, además de procesos adicionales como el del aserrín para generar 1 kg de combustible y el de energía eléctrica adaptado a las fuentes de generación en México. Los datos primarios se obtuvieron de la UCFAS en el periodo 2010-2011, con base a la producción de madera, con

referencia a 1 m³ de madera de pino y encino. La Figura 37 muestra la relación entre procesos unitarios del modelo de producción de madera aserrada seca, las líneas representan los flujos del modelo, no se presentan todas las entradas de material, debido al corte de contribución de 1.5% usado.

5.1.1. Inventarios del proceso de producción de madera aserrada seca

Los inventarios de entradas y salidas como fueron ingresadas en el SimaPro para el ACV del aserrío (Tabla 37) y secado (Tabla 39) de la madera se presentan a continuación.

Tabla 37. Inventario de entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de 1 m3 de madera aserrada verde, los datos recolectados representan el promedio de la producción del año 2010-2011

Productos y Co-productos (proceso de pino)			Asignación
Madera aserrada	516.36	kg	52%
Corteza	79.40	kg	8%
Tira	158.80	kg	16%
Despunte	39.70	kg	4%
Aserrín verde	198.60	kg	20%
Materiales/ Combustibles			Fuente
Madera en rollo	993.00	kg	UCFAS
Diesel	0.625	L	UCFAS
Gasolina	0.0187	L	UCFAS
Lubricantes	0.0946	kg	UCFAS
Electricidad /Energía			
Electricidad Mix Mx	32.11	kWh	Ecoinvent
Emisiones al aire			
Acetaldehído	0.0387	kg	} Franklin database (Milota et al., 2006)
Metanol	0.0010	kg	
COV	0.0387	kg	
Residuos sólidos			
Residuos de madera	0.00022	kg	UCFAS

COV- Compuestos orgánicos volátiles

Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

Para el caso del secado de madera aserrada, se realizó un proceso adicional considerando como entrada la mezcla de combustibles en peso seco y húmedo, para generar 14.02 MJ de energía con 1kg de mezcla de combustible (Tabla 38), para posteriormente ser integrado a las entradas del proceso de secado (Milota et al., 2006).

Tabla 38. Entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de 1kg de mezcla de aserrín

Productos		Asignación	
Mezcla de aserrín comb	1	kg	100%
Materiales/ Combustibles		Fuente	
Aserrín verde (aserrío) ¹	0.500	kg	UCFAS
Aserrín seco (cepillado fj) ¹	0.250	kg	UCFAS
Aserrín seco (cepillado mueble) ¹	0.250	kg	UCFAS
Emisiones al aire			
Partículas	0.0345	kg	Franklin database (Milota et al.,
NOx	0.3045	kg	
Substancias orgánicas	0.0337	kg	
SOx	0.0154	kg	
CO	2.7608	kg	
CO ₂ (biomasa)	426	kg	
Fenol	0.0081	kg	
Formaldehído	0.0012	kg	
Acetaldehído	0.0006	kg	
Benceno	0.0007	kg	
Naftaleno	0.0005	kg	
Residuos sólidos			
Cenizas	0.372	kg	Franklin database (Milota et al.,

¹pesos en base a peso seco

Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

Tabla 39. Entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para el secado de 1 m3 de madera aserrada verde, los datos recolectados representan el peso promedio de la producción del año 2010-2011

Productos y Co-productos			Asignación
Madera aserrada estufada	516	kg	100 %
Recursos			Fuente
Agua	23.9	m ³	UCFAS
Carbonato de sodio	0.0200	kg	UCFAS
Materiales/combustibles			
Madera aserrada	516	kg	UCFAS
Lubricantes	0.0019	kg	UCFAS
Diesel	0.1419	kg	UCFAS
Electricidad /Energía			
Electricidad MixMx	31.34	kWh	ecoinvent
Mezcla aserrín comb	203	kg	Franklin database (Milota et al., 2006)
Emisiones al aire			
COV	0.1970	kg	Franklin database (Milota et al., 2006)
Residuos sólidos			

COV- Compuestos orgánicos volátiles

Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

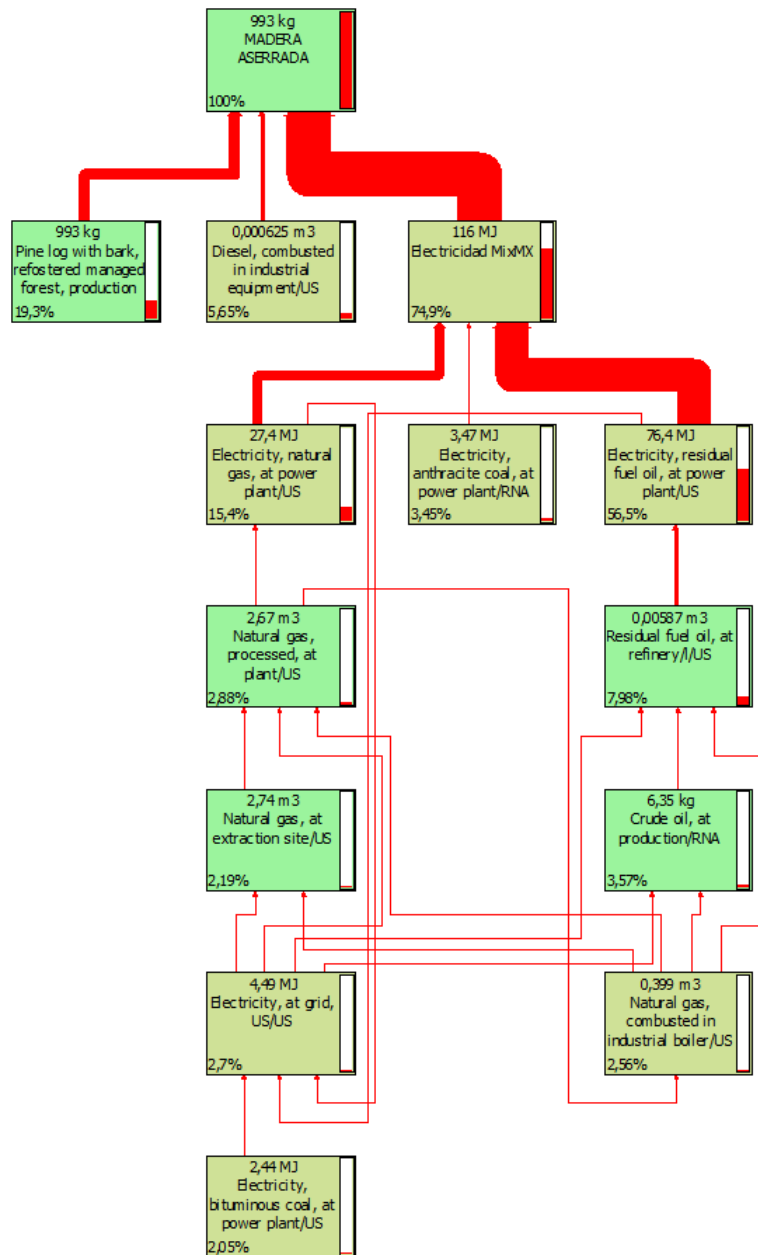
Debido a que en las múltiples bases de datos no existe el mix eléctrico de México, se realiza un proceso adicional integrando las diferentes fuentes energéticas que asemejan el perfil eléctrico de generación para el contexto mexicano (Tabla 40).

Tabla 40. Entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de 1 kWh de energía

Productos y Co-productos			Asignación
Electricidad MixMx	1	kWh	100 %
Recursos			
			Fuente
Energía renovable	0.0700	kWh	ecoinvent
Materiales/combustibles			
Electricidad /Energía			
Energía desde petróleo	0.6600	kWh	ecoinvent
Energía desde gas natural	0.2300	kWh	ecoinvent
Energía nuclear	0.0100	kWh	ecoinvent
Energía desde carbón	0.0300	kWh	ecoinvent

Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

Figura 37. Diagrama sankey de flujos de entradas en el proceso de producción de 1m3 de madera aserrada seca



Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

Las líneas rojas gruesas representan los flujos con mayor carga ambiental, así como los pequeños termómetros de lado derecho que muestran la carga ambiental generada en cada proceso, como se puede observar las cargas ambientales con mayor cantidad se deben al consumo de energía eléctrica con un 75% y a su producción; un porcentaje menor se debe al proceso de extracción de la madera en rollo con un 19%.

5.1.2. Caracterización de la evaluación del proceso de producción de madera aserrada seca

La caracterización de impactos nos permite obtener un indicador en cada categoría de impacto, unificando a una única cantidad de referencia todas las sustancias clasificadas dentro de cada categoría, mediante el empleo de factores de peso o equivalencia (Rivela, 2012).

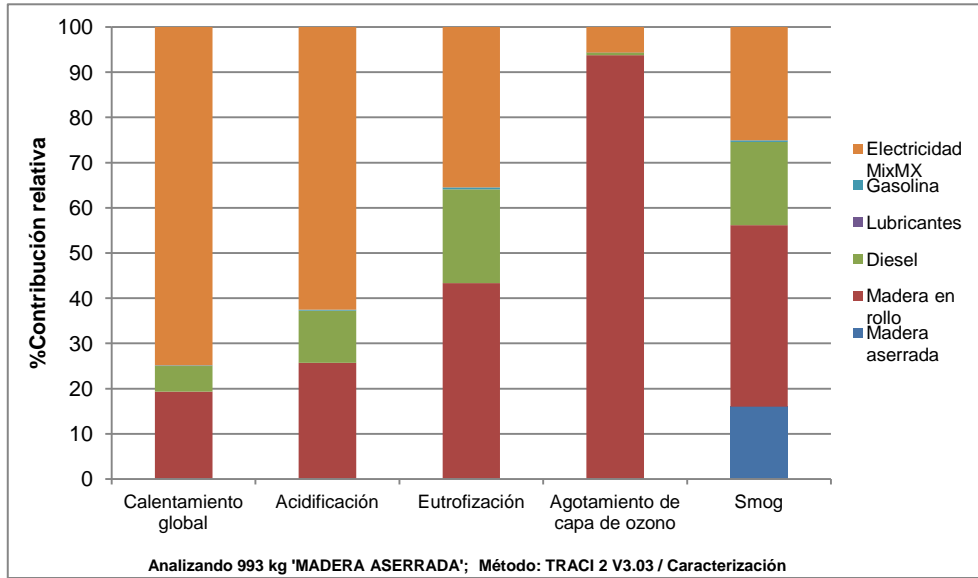
La caracterización de los valores del proceso de aserrío son representados en la Figura 38, donde nos indica que la energía eléctrica tiene una contribución de impacto al medio ambiente en altos porcentajes en 3 de las 5 categorías consideradas, como calentamiento global con 75%, acidificación 63%, y eutrofización 35% estas emisiones se relacionan del uso de energía eléctrica de fuentes fósiles durante el proceso, y a la dependencia del petróleo como fuente primaria.

El proceso previo de madera en rollo contribuye también entre el 19% y el 94% a las emisiones en las 5 categorías de impacto, esto se debe al acumulamiento de emisiones que trae ya consigo la extracción de madera en rollo, debido a los altos consumos de energía y combustibles fósiles desde los equipos y máquinas que se usan en el aprovechamiento, incluido el de transporte (Johnson et al., 2004).

El diesel al ser un combustible con altos contenidos de SO₂ también forma parte de la contribución de impacto en 4 de las 5 categorías desde 6% al 21%, con un mayor porcentaje en la categoría de eutrofización.

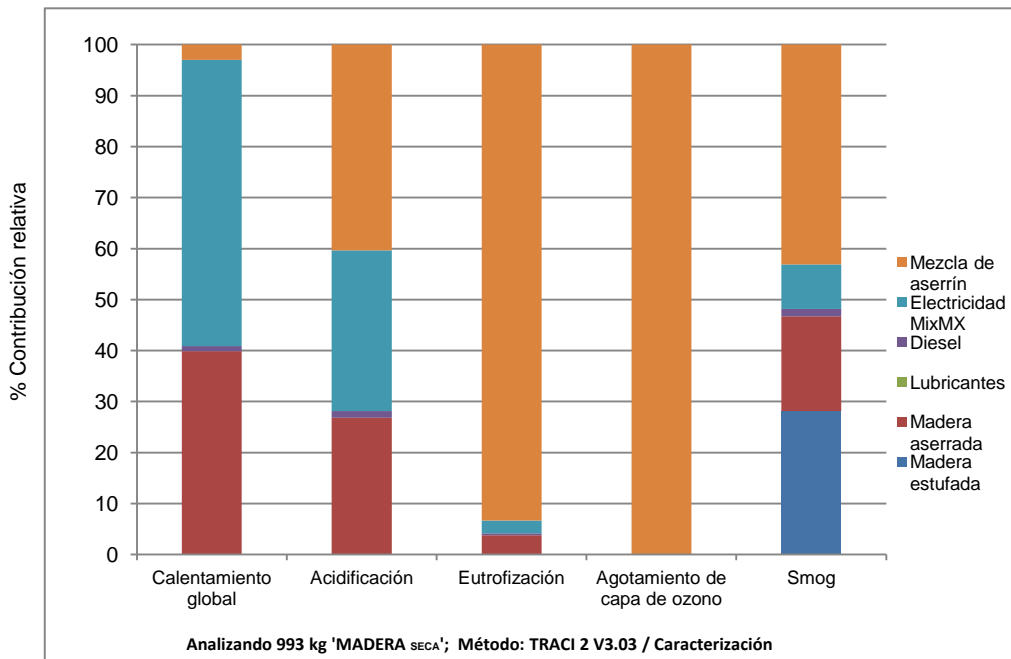
Con respecto a la caracterización del proceso de secado, en la Figura 39, se visualiza una alta contribución de las emisiones de CO₂ que provienen de la combustión de la mezcla de aserrín en la caldera para el secado de madera, esto se debe a las grandes cantidades de aserrín utilizado para quitar el agua de la madera, esta contribución presenta las emisiones del CO₂ biogénico y CO₂ fósil, el porcentaje de contribución es de 24% al 100% en 4 categorías, con un 100% de contribución a la categoría de agotamiento de capa de ozono. El proceso de aserrío previo al secado también forma parte de la contribución medioambiental en las categorías de calentamiento global, acidificación y smog con un 40%, 26% y 19% respectivamente. Además se distingue también que la energía eléctrica contribuye en estas mismas categorías con 56%, 31% y 4% respectivamente.

Figura 38. Caracterización del proceso de producción de 1m³ de madera aserrada



Fuente: Exportado de SimaPro v.8

Figura 39. Caracterización del proceso de producción de 1m³ de madera seca



Fuente: Exportado de SimaPro v.8

5.1.3. Impactos ambientales potenciales del aserrío y secado de 1 m³ de madera

Al comparar los procesos de aserrío y secado de madera considerando la contribución de los impactos ambientales potenciales se puede notar que los valores del aserrado son inferiores al proceso de secado, en las 5 categorías de impacto. La principal diferencia se observa en la categoría de calentamiento global ya que el valor del proceso de secado es casi 50% mayor que el del aserrío con 45.9 kg CO₂ eq, respecto a 18.31 kg CO₂ eq (Tabla 41) esto se debe a la cantidad de energía consumida en el proceso, ya que además de la energía a base de biomasa se requiere de energía eléctrica para el funcionamiento de ventiladores, hardware de monitoreo, bombas, y demás equipo complementario, aunado a esto el uso del diesel como combustible para el transporte interno de la madera.

Tabla 41. Impactos ambientales potenciales del proceso de aserrío y secado de madera en la UCFAS

Categoría de impacto	Unidad	Aserrío	Secado	Total
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	18.31	45.91	67.21
Acidificación	H+ moles eq	6.95	25.9	35.23
Eutrofización	kg N eq	4.00E-03	1.05E-01	1.12E-01
Agotamiento de capa de Ozono	kg CFC-11 eq	7.25E-09	3.00E-05	3.00E-05
Smog	g NOx eq	1.01E-01	5.46E-01	5.49E-01

Fuente: Exportado de SimaPro v.8

En la Tabla 45 se identifica las emisiones totales de mayor concentración generadas en ambos procesos, como el CO₂ fósil con 52.93 kg/m³, además del CO fósil con 311.73 g/m³, metano con 123.42 g/m³, óxidos de nitrógeno con 424.62g/m³, óxidos de azufre con 150.40 g/m³, partículas > 2.5 µm, y < 10µm con 467.96g/m³ y covs con 246.78g/m³. Parte de estas emisiones son de las que pertenecen a los GEI que aunque su emisión sea pequeña comparadas con las grandes industrias contribuyen también a largo plazo al calentamiento global.

Método de prueba de hipótesis

Hasta ahora los resultados obtenidos del análisis realizado al proceso de aserrío y secado de la UCFAS nos han arrojado datos que nos ayudarán a probar las hipótesis planteadas en el capítulo IV, la primera señala *los procesos productivos de la empresa forestal comunitaria contribuyen en menor medida al impacto ambiental, comparados con los procesos productivos de la empresa forestal privada*. Para probar la hipótesis anterior se considera el análisis realizado por (Milota et al., 2006) donde evalúa el proceso de madera aserrada seca en E.U.; los resultados obtenidos por Milota serán contrastados con los resultados del presente análisis considerando aprovechamiento de energía eléctrica y térmica, combustible para caldera (biomasa) y kg de CO₂ eq emitidos a la atmosfera.

Para la segunda hipótesis planteada *mediante el análisis de ciclo de vida de 1m³ de madera aserrada seca es posible identificar puntos débiles del proceso productivo en la UCFAS para mejorar el desempeño ambiental de los procesos*, la hipótesis será probada mediante la extrapolación de resultados a cantidades de producción total ya que permite identificar puntos clave de los procesos y este es el punto de partida para las propuestas de mejora al desempeño ambiental.

5.1.4. Emisiones al aire

Finalmente en la Tabla 42 se identifica las emisiones totales de mayor concentración generadas en ambos procesos, como el CO₂ fósil con 52.93 kg/m³, además del CO fósil con 311.73 g/m³, metano con 123.42 g/m³, óxidos de nitrógeno con 424.62g/m³, óxidos de azufre con 150.40 g/m³, partículas > 2.5 µm, y < 10µm con 467.96g/m³ y covs con 246.78g/m³. Parte de estas emisiones son de las que pertenecen a los GEI que aunque su emisión sea pequeña comparadas con las grandes industrias contribuyen también a largo plazo al calentamiento global.

Tabla 42. Emisiones de los procesos de aserrío y secado de 1m3 de madera

Sustancia	Compartimento	Unidad	Aserrío	Secado	Total
Acetaldehído	Aire	g	0,32	1,08	1,39
Acroleína	Aire	g	0,00	3,65	3,66
Benceno	Aire	g	0,01	3,86	3,87
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	Aire	g	0,35	1,00	1,35
Dióxido de carbono biogénico	Aire	kg	0,01	178,16	178,16
Dióxido de carbono fósil	Aire	kg	14,03	38,90	52,93
Dióxido de carbono (transformación)	Aire	kg	3,34	3,34	6,68
					237,77
Monóxido de Carbono	Aire	g	0,00	548,11	548,11
Monóxido de Carbono fósil	Aire	g	113,40	198,33	311,73
Formaldehído	Aire	g	0,02	4,07	4,09
Cloruro de hidrógeno	Aire	g	0,36	18,36	18,72
Manganeso	Aire	g	0,00	1,47	1,47
Metales, no específicos	Aire	g	0,00	39,07	39,07
Metano	Aire	g	29,44	93,98	123,42
Metano, fósil	Aire	g	2,39	6,74	9,13
Óxido nitroso	Aire	g	80,21	344,41	424,62
NMVOC, Compuestos orgánicos no volátiles	Aire	g	31,42	42,78	74,19
Partículas, > 2.5 µm, y < 10µm	Aire	g	4,52	463,44	467,96
Partículas, no específicas	Aire	g	1,63	4,55	6,18
Dióxido de Azufre	Aire	g	39,89	105,16	145,05
Oxido de Azufre	Aire	g	33,28	117,12	150,40
COV, compuestos orgánicos volátiles	Aire	g	204,41	204,41	408,82
Acetaldehído	Aire	g	23,46	223,32	246,78

*Se consideraron las emisiones con mayor impacto

Fuente: Exportado de SimaPro v.8

5.2. Evaluación e Interpretación del impacto de ciclo de vida del proceso de producción del tablero finger joint

Para la evaluación del impacto del ciclo de vida se consideran las etapas de clasificación y caracterización establecidas por la (ISO 14044, 2006), se excluyen las etapas opcionales como la normalización, agrupación y valorización, debido a la falta de datos específicos de la región.

Mediante el software SimaPro v.8. desarrollado por PRÉ Consultans se realiza el análisis y se considera el método de impacto TRACI 2 v3.03, las categorías de impacto como: calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación eutrofización y smog potencial, proporcionan indicadores generales, cuantificables de los impactos potenciales en los productos de madera según el Product Category Rules, (2011) es así que estas categorías son consideradas en el presente análisis a excepción de formación de oxidante fotoquímicos debido a que esta versión de TRACI no la incluye.

Se tomaron datos de la base de datos ecoinvent, USLCI, considerando los procesos de los materiales, productos químicos, combustibles, energía y electricidad, se seleccionaron los datos de tipo [RoW] *rest of the world* que corresponden a datos del resto del mundo y [GLO] *global* que corresponden con datos globales.

Los datos primarios se obtuvieron de la UCFAS en el periodo 2010-2011, con base a la producción de 1 m³ de tablero finger joint terminado. La Figura 40 muestra la relación entre procesos del modelo de producción del tablero finger joint, donde las líneas representan los flujos del modelo.

La Tabla 43, indica los datos del inventario de entradas y salidas para la producción del tablero finger joint.

5.2.1. Inventarios del proceso de producción del tablero finger joint

Tabla 43. Inventario de entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de 1 m³ de tablero finger joint, los datos recolectados representan el peso promedio de la producción del año 2010-2011

Productos y Co-productos			Asignación
Panel finger joint	1	m ³	90%
Aserrín seco	52	kg	10%
Materiales/ Combustibles			Fuente
Madera estufada	516	kg	UCFAS
Diesel	0.5035	L	UCFAS
Resina-paraformaldehído	8	kg	UCFAS
Lubricantes	1.4000	kg	UCFAS
Adhesivo	2	kg	UCFAS
Electricidad /Energía			
Electricidad Mix Mx	126.59	kWh	ecoinvent
Emisiones al aire			
Acetaldehído	5.60E-03	kg	USCLI
Acroleína	3.61E-7	kg	
Dióxido de carbono, biogénico	5.02E0	kg	
Dióxido de carbono, fósil	1.38E0	kg	
Monóxido de carbono	7.69E-2	kg	
Formaldehído	1.15E-2	kg	
Metanol	1.76E-2	kg	
Óxidos de nitrógeno	2.56E-2	kg	
Partículas, >2.5 µm, and <10µm	3.06E-1	kg	
Fenol	3.06E-1	kg	
Óxidos de azufre	5.64E-4	kg	
COV	3.22E-1	kg	
Residuos sólidos			

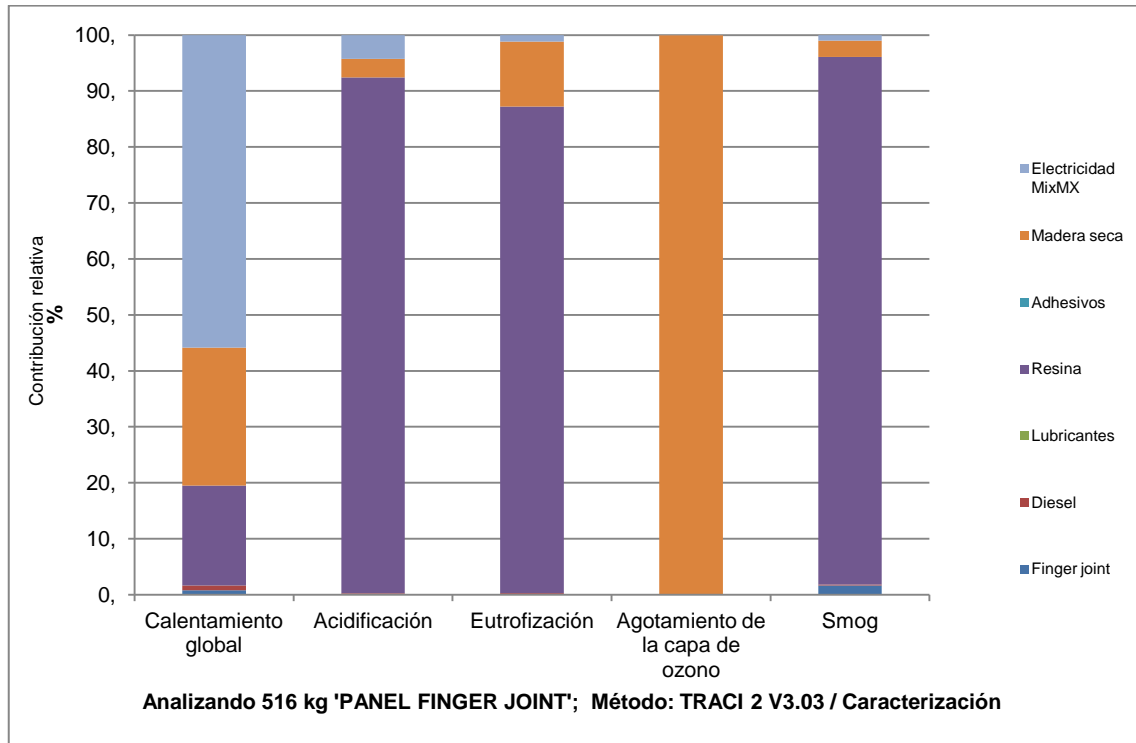
Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

5.2.2. Caracterización de la evaluación del proceso de producción de 1 m³ de tablero finger joint

En la Figura 41, se visualiza la contribución relativa de los impactos ambientales de los materiales utilizados en el proceso de producción del tablero fj, se distingue la mezcla de resina utilizada en el proceso, ya que aporta mayor porcentaje en 3 de las 5 categorías de impacto, con un 92% en la categoría de acidificación, además de un 87% en eutrofización, y un 94% en smog, esto se le atribuye a los componentes de la mezcla de resina de paraformaldehído que se utiliza para el conformado del tablero ya que su materia prima proviene del petróleo y del gas natural además del uso de metanol para hacer reacción, sin embargo la carga ambiental del producto en sí es mínimo comparado con la carga ambiental que trae consigo su proceso de producción, debido a que se necesitan grandes cantidades de recursos tanto renovables como no renovables, así como de grandes cantidades de energía fósil para producirla, y aunado a ello los impactos que se generan en su transporte (J. B. Wilson, 2010a).

El segundo factor que contribuye a los impactos potenciales es el proceso previo de secado que tuvo la madera, ya que su carga ambiental es acumulada y debido a que se requiere de energía térmica y eléctrica, además de las emisiones generadas por el uso de lubricantes fósiles en los equipos de trabajo, la carga ambiental se incrementa, esto afecta en gran medida a la categoría de agotamiento de la capa de ozono.

Figura 41. Caracterización del proceso de producción de 1m³ tablero finger joint



Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

5.2.3. Impactos ambientales potenciales de la producción de 1 m³ de tablero finger joint

La contribución de impacto ambiental potencial nos ayuda a identificar los aspectos donde nuestro sistema requiere mayor atención, ya que con la comparación de los procesos unitarios podemos identificar los puntos débiles de nuestro sistema, de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 44, la categoría con mayor contribución de impacto ambiental es la de calentamiento global con 186.15 kg CO₂ eq, comparada con las cantidades de CO₂ eq de los procesos anteriores es dos veces superior, esto se debe a la cantidad de energía eléctrica necesaria que en esta etapa de transformación se requiere, además de las materias primas utilizadas como es el caso de la resina que debido a las altas temperaturas a la que se somete junto con la madera en el prensado, se generan emisiones a la atmosfera, incluyendo otras emisiones que surgen durante el secado, además de partículas que se producen durante el cepillado.

Tabla 44. Impactos ambientales potenciales del proceso de producción de 1m³ de tablero finger joint

Categoría de impacto	Unidad	Aserrío	Secado	Tablero FJ
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	18.31	45.87	186.15
Acidificación	H+ moles eq	6.95	25.93	779.27
Eutrofización	kg N eq	4.00E-03	1.05E-01	9.09E-01
Agotamiento de capa de Ozono	kg CFC-11 eq	7.25E-09	3.00E-05	3.00E-05
Smog	g NOx eq	0.10	0.55	18.92

Fuente: Exportado de SimaPro V.8.

Método para prueba de hipótesis

Al igual que en el proceso de aserrío y secado, con los resultados obtenidos del análisis realizado al proceso de tablero finger joint se intenta probar las hipótesis planteadas anteriormente, la primera será comprobada considerando el análisis realizado por Athena Sustainable Materials Institute, (2013) que evalúa el proceso de producción de un tablero MDF producido en empresas de origen canadiense, los resultados obtenidos por Athena Sustainable Materials Institute serán contrastados con los resultados del análisis del tablero finger joint tomando en cuenta que ambos tableros tienen la misma función en un mueble escolar, estimando el aprovechamiento de energía eléctrica, así como las categorías de impacto de calentamiento global, acidificación, eutrofización, agotamiento de la capa de ozono y smog.

Para la segunda hipótesis planteada *mediante el análisis de ciclo de vida de 1m³ de tablero finger joint es posible identificar puntos débiles del proceso productivo en la UCFAS para mejorar el desempeño ambiental de los procesos*, al igual que en el caso anterior la hipótesis será probada mediante la extrapolación de resultados a cantidades de producción total, esto nos permite generar propuestas de mejora al desempeño ambiental en los puntos débiles del proceso, mediante la selección y reducción de materiales, además de introducir el ecodiseño desde la conceptualización del producto.

5.2.4. Emisiones al aire

La Tabla 45, presenta las mayores concentraciones de CO₂ fósil (140.55 kg/m³), CO fósil (539.53 kg/m³) y metano (277.16 g/m³). Como se observa las emisiones más altas aparte del CO fósil, es el SO₂ principal causante de la lluvia ácida ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico, originando la acidificación. Las emisiones al aire pueden ser a causa del proceso de mecanizado que resulta en partículas de diferentes tamaños, como el caso de las partículas > 2.5 μm, y < 10μm (778.10 g/m³) que se producen durante el aserrado, cepillado y lijado del tablero. Otras emisiones al aire como los covs (556.77 g/m³) se producen durante el prensado y enfriamiento del tablero, debido al paraformaldehído y el metanol que contiene la mezcla de resina.

Tabla 45. Emisiones del proceso de producción de 1m3 de tablero finger joint

Sustancia	Compartimento	Unidad	PANEL FINGER JOINT
Acetaldehído	Aire	g	6.68
Acroleína	Aire	g	3.66
Aldehídos, no específicos	Aire	g	1.47
Benceno	Aire	g	3.89
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y xileno),no específico	Aire	g	3.64
Dióxido de carbono	Aire	g	38.24
Dióxido de carbono biogénico	Aire	kg	183.24
Dióxido de carbono fósil	Aire	kg	140.55
Dióxido de carbono (transformación)	Aire	kg	3.34
Monóxido de Carbono	Aire	g	625.02
Monóxido de Carbono fósil	Aire	g	539.53
Oxido nitroso	Aire	g	111.33
Formaldehido	Aire	g	15.68
Cloruro de hidrógeno	Aire	g	27.87
Manganeso	Aire	g	2.13
Metales, no específicos	Aire	g	1.48
Metano	Aire	g	39.07
Metano, fósil	Aire	g	277.16
Metanol	Aire	g	24.27
Oxido de Nitrógeno	Aire	g	18.36
Nitrógeno	Aire	kg	18.41
NMCOV compuestos orgánicos volátiles no específicos	Aire	g	95.44
Partículas, > 2.5 µm, y < 10µm	Aire	g	88.54
Fenol	Aire	g	64.42
Dióxido de Azufre	Aire	g	1.57
Óxidos de Azufre	Aire	g	436.53
COV, Compuesto orgánicos volátiles	Aire	g	3.74
Zinc	Aire	g	204.41
Acetaldehído	Aire	g	556.77

Fuente: Exportado de SimaPro v.8.

5.3. Evaluación e Interpretación del impacto de ciclo de vida del proceso de producción del mueble escolar

Se considera la etapas de clasificación y caracterización establecidas por la (ISO 14044, 2006) se excluyen las etapas opcionales como la normalización, agrupación y valorización, debido a la falta de datos específicos de la región.

Mediante el software SimaPro v.8. desarrollado por PRé Consultans, se realiza la evaluación con el métodos de impacto CML baseline 2000 y se consideran las categorías de: agotamiento abiótico, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación, eutrofización, toxicidad humana, toxicidad en agua dulce, toxicidad en agua salada, ecotoxicidad terrestre, esto porque en la literatura se encontró que diversos autores han desarrollado sus análisis mediante estos métodos y con la finalidad de encontrar puntos de referencia y contrastar de resultados.

Se tomaron datos de la base de datos ecoinvent, USLCI, considerando los procesos de los materiales, productos químicos, combustibles, energía y electricidad, se seleccionaron los datos de tipo [RoW] *rest of the world* que corresponden a datos del resto del mundo y [GLO] *global* que corresponden con datos globales.

Los datos primarios se obtuvieron de la UCFAS en el periodo 2010-2011, con base a la producción de total de muebles escolares terminados. La Figura 42 y 43 muestra la relación entre procesos del modelo de producción de una silla escolar y un locker donde las líneas representan los flujos del modelo.

La Tabla 46, indica los datos del inventario de entradas y salidas para la producción de muebles escolares.

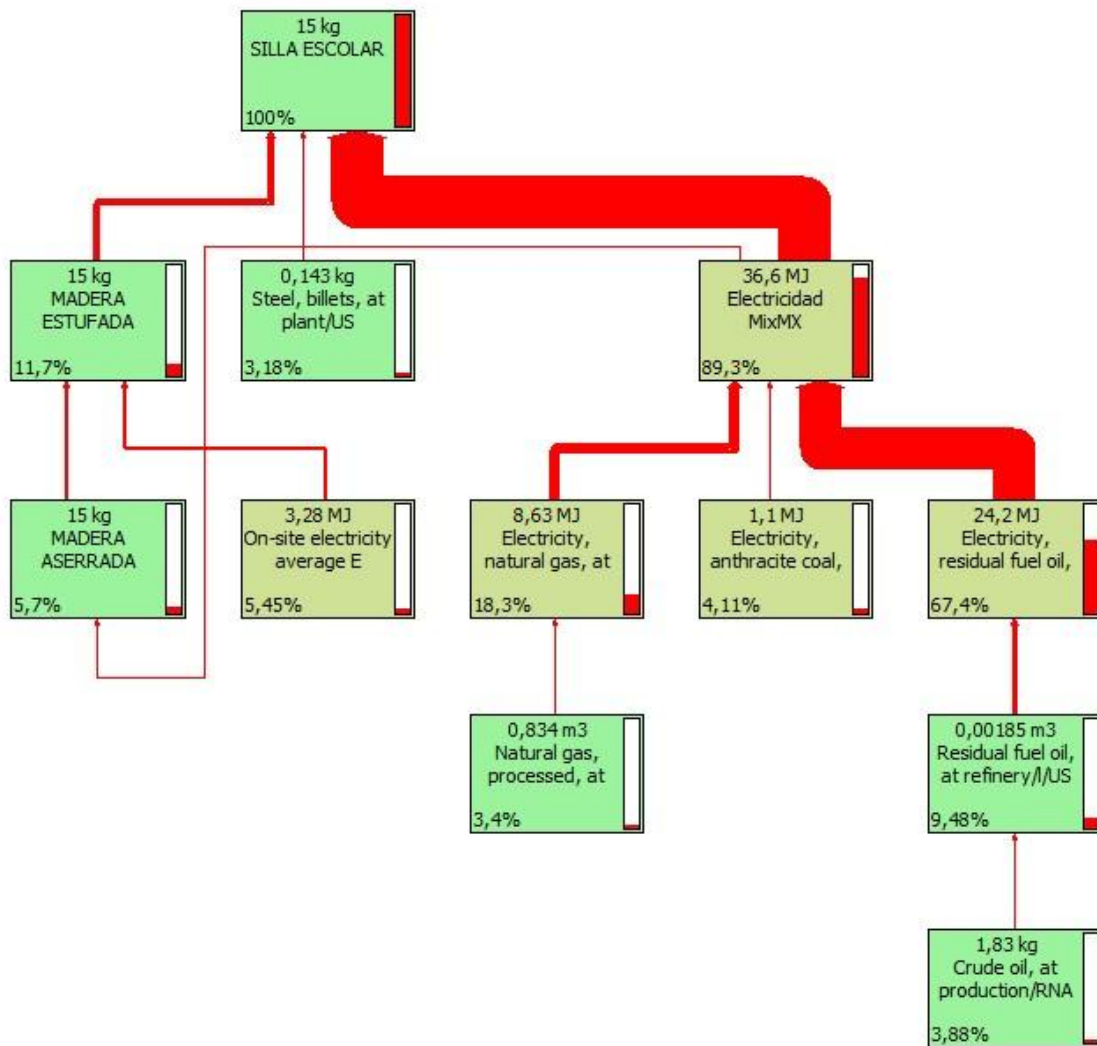
5.3.1. Inventarios del proceso de producción del muebles escolar

Tabla 46. Inventario de entradas y salidas consideradas en el software SimaPro v.8 para la producción de muebles escolares

Productos y Co-productos	Archivero	Escritorio	Locker	Mesa	Silla		Asignación
Peso producto	37.9	27	28.6	8.37	14.4	kg	97%
aserrín seco	1.58	2.03	0.885	0.63	0.6	kg	3%
Materiales/ combustibles							Fuente
Madera seca	16	20	5	5	15	kg	UCFAS
Panel finger joint	24	9	25	4	0	kg	UCFAS
Lubricantes	3.00E-01	0.3	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	kg	UCFAS
Barniz	2.50E-04	0.0001444	1.52E-04	3.13E-04	9.70E-05	kg	ecoinvent
Metales	2.28E-02	0.114	2.28E-02	2.60E-01	1.43E-01	kg	ecoinvent
Film retráctil	1.07E-06	2.94E-3	2.41E-07	2.50E-05	6.17E-08	kg	ecoinvent
Cartón	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.98E-03	kg	ecoinvent
Electricidad/ Energía							
Electricidad MixMx	24.88		19.19	5.54	9.67	kWh	ecoinvent

Fuente: Elaboración propia con base a datos de la UCFAS

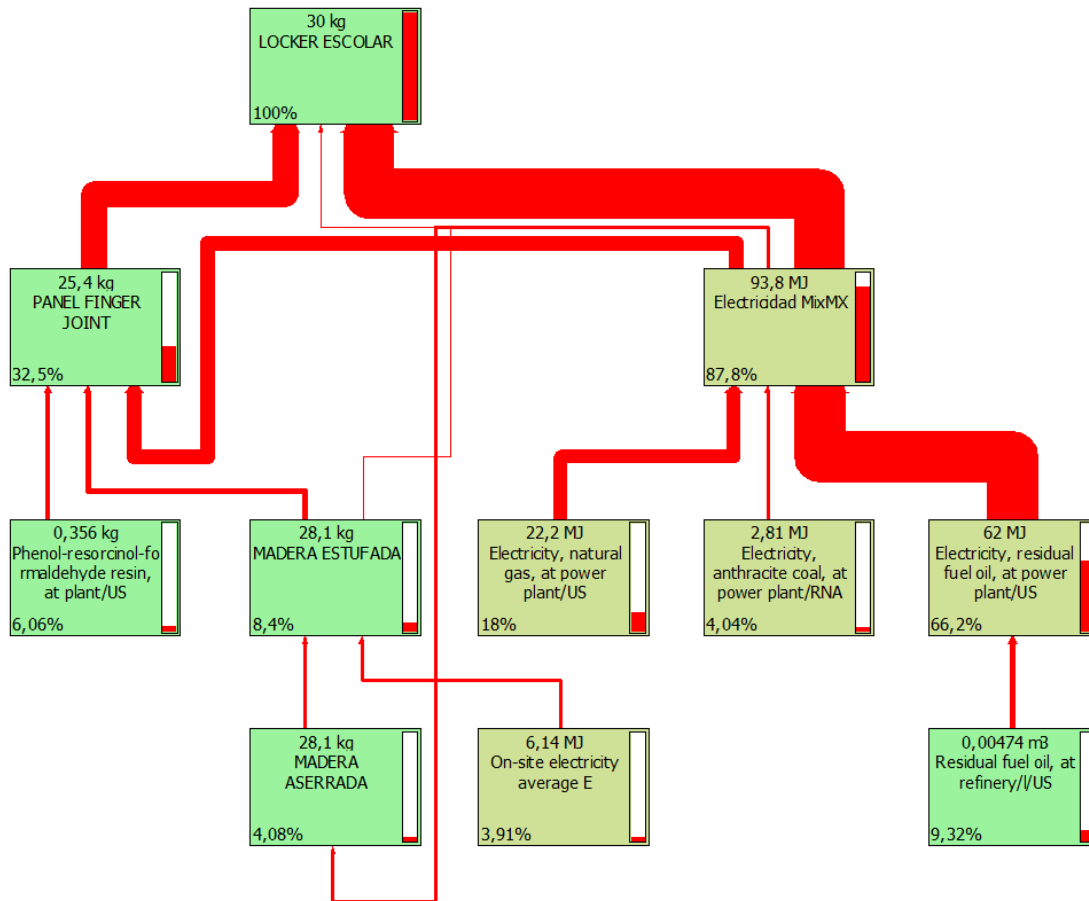
Figura 42. Diagrama sankey de flujos de entradas en el proceso de producción de una silla escolar (15 kg)



Fuente: Exportado de SimaPro v.8.

El diagrama representa los principales flujos de entradas en la fabricación de una silla escolar, la línea gruesa representa la mayor contribución de impacto ambiental y se debe al uso de energía eléctrica con fuentes primarias fósiles (89%) además de la contribución del proceso previo de secado a la madera con un 12% de contribución.

Figura 43. Diagrama sankey de flujos de entradas en el proceso de producción de un locker escolar (30 kg)

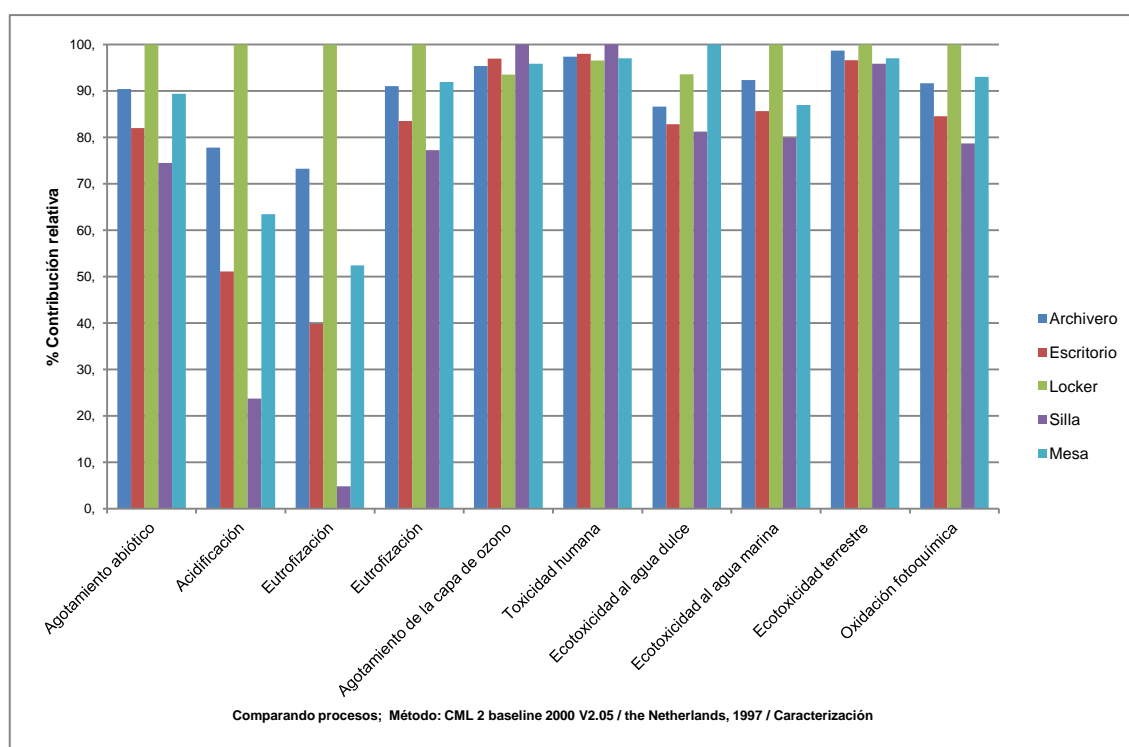


Fuente: Exportado de SimaPro v.8.

5.3.2. Caracterización de la evaluación del proceso de producción de 1 kg de material de mueble escolar

La Figura 44, indica la caracterización de los productos evaluados: archivero, escritorio, locker, silla y mesa, con la unidad funcional de 1kg de material terminado, los 5 productos evaluados presentan alta contribución al impacto ambiental en casi todas las categorías de impacto, en la Tabla 47, se presentan los porcentajes de contribución de cada mueble comparados entre sí, donde se nota que el locker es el mueble que presenta mayor contribución al impacto ambiental, ya que en 7 de las 10 categorías consideradas tiene una contribución relativa del 100%. El caso contrario lo presenta la silla escolar que tiene menores porcentajes en 5 de las 10 categorías de impacto.

Figura 44. Caracterización del proceso de producción de muebles escolares, considerando 1kg de material terminado. Método CML baseline2000



Fuente: Exportado de SimaPro v.8.

Tabla 47. Porcentaje de contribución de impacto ambiental por categoría de 1 kg de material terminado. Método CML baseline2000

Etiqu.	Archivero	Escritorio	Locker	Silla	Mesa
Agotamiento abiótico	90%	82%	100%	74%	89%
Acidificación	78%	51%	100%	24%	63%
Eutrofización	73%	40%	100%	5%	52%
Calentamiento global	91%	83%	100%	77%	92%
Agotamiento de capa de Ozono	95%	97%	93%	100%	96%
Toxicidad Humana	97%	98%	97%	100%	97%
Ecotoxicidad al agua dulce	87%	83%	94%	81%	100%
Ecotoxicidad al agua marina	92%	86%	100%	80%	87%
Ecotoxicidad Terrestre	99%	97%	100%	96%	97%
Oxidación fotoquímica	92%	85%	100%	79%	93%

Fuente: SimaPro v8.

Tabla 48. Impactos ambientales potenciales del proceso de producción de 1kg de mueble escolar. Método CML baseline2000

Categoría de impacto	Unidad	Archivero	Escritorio	Locker	Silla	Mesa
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	0.0052	0.0047	0.0057	0.0043	0.0051
Acidificación	kg SO2 eq	0.0146	0.0096	0.0188	0.0045	0.0119
Eutrofización	kg PO4--- eq	0.0027	0.0015	0.0038	0.0002	0.0020
Calentamiento global	kg CO2 eq	0.7524	0.6904	0.8269	0.6386	0.7598
Agotamiento de capa de Ozono	kg CFC-11 eq	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Toxicidad Humana	kg 1,4-DB eq	6.1695	6.2098	6.1161	6.3361	6.1456
Ecotoxicidad al agua dulce	kg 1,4-DB eq	0.1835	0.1754	0.1983	0.1722	0.2119
Ecotoxicidad al agua marina	kg 1,4-DB eq	644.781	598.213	698.483	557.767	607.3662
Ecotoxicidad Terrestre	kg 1,4-DB eq	0.0046	0.0045	0.0046	0.0045	0.0045
Oxidación fotoquímica	kg C2H4	0.0003	0.0003	0.0003	0,0003	0.0003

Fuente: Exportado de SimaPro v8.

Impactos ambientales potenciales de la producción de 1 m³ de tablero finger joint

Finalmente de acuerdo al resultado de impactos ambientales potenciales por producto (Tabla 48) nos indica que los 5 productos analizados presentan altos porcentajes en las siguientes categorías de impacto: agotamiento de la capa de ozono- archivero 95.3%, escritorio 97%, locker 93%, silla 100% y mesa 86%, esto se debe al consumo de energía eléctrica durante su proceso ya que como se ha mencionado anteriormente las fuentes primarias se deben al petróleo y gas natural, además del uso de lubricantes de origen fósil para las máquinas donde se hacen posible el proceso de producción, en conjunto la producción de 1 kg de material de mueble terminado aporta 9.58 kg CO₂ eq.

En la categoría de toxicidad humana, se presentaron las siguientes contribuciones: archivero 97%, escritorio 98%, locker 97%, silla 100%, mesa 97%, que también se le atribuye al uso de energía eléctrica durante el proceso además de las emisiones que se desprenden durante el proceso de secado de la madera que es materia prima de los productos, la suma total de la producción de 1 kg de material de estos productos aporta 95 kg 1,4-DBeq y para la categoría de ecotoxicidad terrestre, archivero 99%, escritorio 97%, locker 96%, silla 96%, y mesa con el 97%, la producción de 1 kg de material de productos terminado aporta 0.0668 kg 1,4-DB eq.

Se nota que el locker tiene mayor contribución relativa en 10 categorías que integran el método de impacto, básicamente porque uno de los componentes es el tablero fj y durante el proceso del tablero se hace uso de la resina de paraformaldehído para su conformación, así que al contener altos porcentajes de resina esto hace que su impacto sea mayor comparado con respecto a los demás. El producto con menor contribución de impacto ambiental, es la silla escolar ya que en sus componentes únicamente se encuentra la madera seca sólida, lo que significa que su carga ambiental mayor viene del tratamiento previo de secado de la madera de esta manera hace que su contribución relativa sea de menor carga ambiental.

Método de prueba de hipótesis

Para probar las hipótesis planteadas, la primera será comprobada de la misma manera que los procesos unitarios anteriores, contrastando los resultados obtenidos en el presente análisis con los resultados obtenidos por (González-García et al., 2011) de la evaluación de productos de madera fabricados en empresas españolas, la comparación es muy cuidadosa debido a que se trata de productos con diferentes funciones, sin embargo se toman como referencia en términos generales los resultados, se toman en cuenta emisiones en kg de CO₂.

Para la segunda hipótesis planteada *mediante el análisis de ciclo de vida de 1kg de producto terminado es posible identificar puntos débiles del proceso productivo en la UCFAS para mejorar el desempeño ambiental de los procesos*, al igual que en el caso anterior la hipótesis será probada mediante la extrapolación de resultados a cantidades de producción total, esto nos permite generar propuestas de mejora al desempeño ambiental en los puntos débiles del proceso, mediante la selección y reducción de materiales en este caso del tablero en los diferentes productos, además de introducir el ecodiseño para enfocarse en el diseño conceptual hasta el reciclado de materiales.

5.3.3. Emisiones al aire

En seguida se presentan las emisiones generadas durante el proceso de producción de 1kg de material de mueble, pero solo se consideran las de mayor impacto (Tabla 49).

Tabla 49. Emisiones del proceso de producción de 1kg de material de muebles escolares

Sustancia	Compartimento	Unidad	Archivero	Escritorio	Locker	Silla	Mesa
Dióxido de carbono biogénico	Aire	g	335.18	338.03	330.85	345.57	334.77
Dióxido de carbono fósil	Aire	g	672.57	629.60	730.36	597.46	689.77
Dióxido de carbono (transformación)	Aire	g	6.18	6.28	6.06	6.62	6.20
Monóxido de Carbono	Aire	g	1.10	1.07	1.11	1.07	1.09
Monóxido de Carbono fósil	Aire	g	2.37	2.29	2.57	2,28	2,92
Cloro	Aire	mg	1.33	1.36	1.31	1,40	1,34
Óxido nitroso	Aire	mg	122.03	64.22	168.80	3.94	90.27
Formaldehído	Aire	mg	20.40	14.49	25.15	8.43	17.15
Cloruro de hidrógeno	Aire	mg	57.05	52.79	60.80	49.01	54.62
Fluoruro de hidrógeno	Aire	mg	1.53	1.43	1.66	1.35	1.51
Magnesio	Aire	mg	2.78	2.82	2.73	2.90	2.78
Metales, no específicos	Aire	mg	72.26	73.46	70.84	75.72	72.49
Metano	Aire	g	1.27	1.19	1.37	1.11	1.22
Metano, fósil	Aire	mg	117.65	109.08	127.61	101.62	110.71
Metanol	Aire	mg	19.95	10.68	27.43	1.01	14.85
Níckel	Aire	mg	173	1.61	1.87	1,51	1.63
Óxidos de Nitrógeno	Aire	g	20.74	11.36	28.35	1,58	15.62
Nitrógeno	Aire	mg	101.58	51.88	141.68	0.00	74.30
NMVOC, Compuestos orgánicos no volátiles	Aire	mg	354.20	334.78	378.81	322.13	358.68
Partículas, > 2.5 µm, y < 10µm	Aire	g	1.23	1.08	1.35	0.94	1.14
Partículas no específicas	Aire	mg	130.20	100.40	157.15	70.90	120.19
Fenol	Aire	mg	1.67	0.85	2.33	0.00	1.22
Dióxido de Azufre	Aire	g	1.85	1.69	2.03	1.55	1.75
Oxido de Azufre	Aire	g	1.70	1.59	1.84	1.50	1.69

Fuente: Exportado de SimaPro v8.

5.4. A modo de síntesis

Para el ACV de los procesos y productos a evaluar, se considera el enfoque de procesos unitarios, de manera que se facilite el análisis.

- Primera transformación: Aserrío y secado de madera en estufas
- Segunda transformación: Fabricación de tablero, fabricación de muebles y embalaje del producto.

Primera transformación: Aserrío y secado de madera en estufa:

Objetivo: identificar y cuantificar las entradas y salidas del proceso de producción de la madera aserrada seca, desde una perspectiva de ciclo de vida, para detectar los puntos débiles del proceso de producción y mejorar el desempeño ambiental.

El límite del sistema acumulativo incluye todos los flujos de energía, combustible y producción de materias primas además de considerar sólo aquellas cargas generadas en el lugar de las instalaciones de fabricación.

Las especies de árboles procesados en la región son: *pinus douglasiana*, *pinus ponderosa*, *spp*, y *pinus ayacahuite* como principales especies con respecto al volumen de producción.

Se obtuvo un promedio de gravedad específica verde de 1,09 para la madera en rollo con un contenido de humedad (CH) >30% ya que la madera en rollo contiene grandes cantidades de agua; para la madera estufada se consideró un CH de 8 %, esto debido a que en el proceso de secado se logra reducir a este grado la humedad, obteniendo como promedio de gravedad específica de 0.47, con un promedio ponderado de densidad de 516 kg/m³ (peso seco).

A partir de la densidad se realizan cálculos para obtener entradas y salidas de materiales para el proceso de aserrío de 1 m³ de material, que es la medida determinada como unidad funcional. Se genera el inventario de ciclo de vida con los datos primarios y secundarios, obtenidos directamente de la empresa o de datos deecoinvent. Se considera el software SimaPro v.8 para realizar la evaluación, además del método de impacto TRACI 2 v.3 conforme lo sugiere el Product Category Rules, (2011) considerando las siguientes categorías de impacto: calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación, eutrofización y smog potencial.

A partir de 2m^3 de madera en rollo que entra a la UCFAS se obtiene 516 kg (peso seco) de madera aserrada verde (1m^3), con un 52% de aprovechamiento, el resto son co-productos (48%).

El consumo de energía de electricidad para 1m^3 en el aserrado es de 32.11 kWh y para el secado se necesita de 31.34 kWh además de la energía térmica que proviene de la mezcla de aserrín (203 kg de mezcla para generar 729.7 MJ/m^3). El diagrama sankey del proceso de producción de 1 m^3 de madera aserrada seca, nos indica que existen grandes flujos de carga ambiental, en los flujos de entradas de la energía eléctrica.

La caracterización de los resultados nos indica que el proceso de secado causa mayor contribución al impacto del medio ambiente, comparado con el proceso de aserrío, esto se debe a que a pesar de que se usa energía térmica a base de aserrín para la caldera también se requiere de energía eléctrica, para el desarrollo de las demás actividades y esta proviene de recurso fósiles. La mayor contribución de impacto ambiental de los procesos de aserrío y secado se presenta en la categoría de impacto de Calentamiento global resultando un impacto ambiental potencial en el proceso de aserrío de $18.32\text{ kg CO}_2\text{eq}$ y el aserrío $45.91\text{ kgCO}_2\text{eq}$.

Segunda transformación: Fabricación de tablero

Se determina como unidad funcional 1m^3 de tablero finger joint para su análisis, el balance de masa de la madera desde el aserrado, 516 kg/m^3 (peso seco) a su salida de la estufa se considera igual.

Objetivo: El presente análisis tiene el objetivo identificar y cuantificar las entradas y salidas del proceso de producción del tablero finger joint, desde una perspectiva de ciclo de vida, para detectar los puntos débiles del proceso de producción y mejorar el desempeño ambiental.

Parte del coproducto del aserrío (aserrín) forma parte de la mezcla de combustible para el secado de la madera. Además se requiere de 31.34 kWh/m^3 de energía eléctrica para desarrollar las actividades complementarias al proceso. El aprovechamiento desde la madera en rollo es de 993kg hasta el tablero fj es de 464 kg/m^3 .

Para realizar la evaluación de la evaluación del impacto de ciclo de vida, se utiliza el software SimaPro v.8., además de la base de datos de ecoinvent y USCLI. El método de impacto TRACI 2 v.3 es considerando para la evaluación con las mismas categorías de impacto que en el anterior análisis: calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, formación de oxidantes

fotoquímicos, acidificación, eutrofización y smog potencial. El diagrama sankey del tablero fj, nos indica que existen grandes flujos de contribución por parte de la energía utilizada en el proceso, además de flujos de contribución por parte de la resina de formaldehído utilizada para el conformado del tablero.

Los resultados de la caracterización de 1m³ de tablero fj nos muestra que este proceso de transformación contribuye ampliamente a la carga ambiental, debido a requiere de mayor energía eléctrica comparada con los anteriores procesos, y además con el uso de resina de paraformaldehído se aporta 186.15 kg CO₂ eq a la categoría de impacto de calentamiento global.

Segunda transformación: Fabricación de muebles

Se establece como unidad funcional: 1 kg de material terminado. Los muebles a evaluar son: silla (14.55 kg), mesa (8.31 kg), locker (28.87), archivero (37.43 kg) y escritorio (27.68 kg). Mediante el software SimaPro v.8. desarrollado por PRé Consultans, se realiza la evaluación con dos métodos de impacto, el CML baseline 2000. Se tomaron datos de la base de datos ecoinvent, USLCI, considerando los procesos de los materiales, productos químicos, combustibles, energía y electricidad.

Los resultados de ambos métodos de impacto nos indican que 1kg de material de locker tiene mayor contribución ambiental a la mayoría de categorías consideradas, entre las de mayor contribución agotamiento abiótico con 0,0057 kg Sb eq, calentamiento global con 0.8269 kg CO₂ eq, ecotoxicidad al agua marina 698,4831 kg 1.4-DB eq. Esto se debe a que la materia prima del locker es el tablero fj y como se sabe la materia prima del tablero es la resina de paraformaldehído, es por eso la razón de la acumulación de carga ambiental en este kg de material de locker.

Se visualiza que 1 kg de material de silla contribuye en menor medida al impacto ambiental, ya que solo trae la carga acumulada del proceso de secado, sin embargo tiene una contribución de 100% en la categoría de toxicidad humana. Concluimos entonces que durante los procesos de transformación de la madera, la energía eléctrica contribuye principalmente al impacto ambiental, así como del uso de materiales a base de fósiles como son los lubricantes que se utilizan en las maquinas y equipos además de la resina de paraformaldehído. Es indispensable buscar alternativas de materiales que cumplan las mismas funciones y contengan menor carga ambiental, así como pensar en una alternativa de energía de manera que la carga ambiental por procesos no se incremente demasiado.

CAPITULO VI. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

6.1. DISCUSIONES

En la literatura se han encontrado trabajos previos que han desarrollado ACV en productos de madera (Tabla 7), donde se encontraron aspectos como el uso de energía, el transporte, el uso de tableros, componentes metálicos y pinturas y se identificaron como puntos débiles. Los resultados del presente análisis muestran puntos clave que podrían mejorar la sustentabilidad de los procesos y productos de la UCFAS y reducir los impactos ambientales.

Los resultados obtenidos hasta ahora serán contrastados con resultados que han obtenido algunos autores evaluando productos de madera, cabe notar que el contraste ha sido realizado de manera cuidadosa ya que se consideran estudios que se han hecho en empresas de países diferentes a México y quizás bajo condiciones diferentes a la UCFAS, sin embargo estos análisis son tomados como referencia ya que en términos de unidad funcional, método de impacto, categorías de impacto y software utilizado son similares a los análisis desarrollados en el presente documento. No obstante debido a la variabilidad de criterios establecidos en cada análisis quizás nos encontremos con pequeñas variaciones.

Proceso de aserrío y secado

En la primera etapa del análisis del proceso de aserrado y secado de madera, se ha considerado el trabajo efectuado por (Milota et al., 2006), donde se realiza el inventario de análisis de ciclo de vida de maderas blandas aserradas en E.U., con una muestra de 4 de 7 empresas en el Oeste y 4 de 9 en el Sur; cabe mencionar que en los análisis de Milota se integra el proceso de cepillado y en el caso de la UCFAS no, ya que se incluye en el proceso del tablero finger joint, además la comparación de sistemas debe realizarse cuidadosamente, ya que los productos a evaluar tienen la misma función pero con algunas diferencias. Por ejemplo los resultados son dados con base a su unidad funcional donde Milota utiliza como unidad funcional 1.623 m^3 de madera aserrada cepillada y en el caso de UCFAS se estableció como unidad funcional 1 m^3 de madera aserrada seca. Los resultados obtenidos por Milota corresponden a la entrada de madera en rollo con 1.914 m^3 en el Oeste de USA y en el Sur de 1.972 m^3 , con un aprovechamiento del 56.8% (818 kg) en el Oeste y en el Sur un 48.9% (883 kg), y en el caso de la UCFAS se obtiene un aprovechamiento del 52% lo que corresponde a 516 kg desde 1.92 m^3 , es importante mencionar que estos resultados dependen de la densidad de las especies de madera así como del contenido

de humedad que contengan. Para el proceso de aserrío Milota asume un consumo de energía eléctrica en el Oeste de 27.8 kWh/m^3 mientras que en el Sur es de 37.7 kWh/m^3 , si se compara con la UCFAS se tuvo un consumo de energía eléctrica de 32.11 kWh/m^3 , a simple vista el consumo eléctrico en el proceso de aserrío de la UCFAS es similar a los resultados obtenidos por Milota en las empresas del Sur, esto podría considerarse que el aprovechamiento de energía eléctrica es similar a otras empresas que realizan el mismo proceso productivo.

En cuanto al proceso de secado según los resultados de Milota las empresas del Oeste utilizaron una mezcla de combustibles para la generación de energía desde las calderas con un 58% de biomasa, 41.7% de gas natural y 0.1% de diesel, mientras que las empresas del Sur usaron combustibles a base de madera al 100%, para el caso de la UCFAS también se utiliza el 100% de combustible a base de madera (aserrín) como en las empresas del Sur de E.U. Sobre ese combustible para la caldera, Milota asume que las empresas del Oeste y Sur de E.U. consideran que 1kg de combustible de madera con 50% contenido de humedad provee una energía de 20.8 MJ y produce 13.9 MJ de vapor con una eficiencia térmica del 67%. Mientras que para la UCFAS 1 kg de mezcla de combustible con 50% contenido de humedad (aserrín verde y seco) contiene 14.02 MJ/kg de energía y produce 9.81MJ de vapor con una eficiencia térmica del 70%. El contenido energético de las maderas depende de su especie, así como del contenido de humedad, ya que entre más humedad exista será menor la eficiencia energética, y aunque se considera el mismo porcentaje de humedad de la biomasa de la UCFAS en comparación con el análisis de Milota, se requiere de mayor cantidad de combustible en la UCFAS para secar 1 m^3 de madera verde.

Además de la energía térmica se necesita de energía eléctrica para los procesos adicionales en el secado de madera, en el Oeste se tuvo un consumo de 27.2 kWh y para el Sur 22.6 kWh (1.624 m^3) mientras que en la UCFAS el consumo fue de 31.34 kWh por 1 m^3 , esto es superior en comparación con el análisis de Milota.

Con respecto a las emisiones al aire, Milota asume que 419 kg de CO_2 son emitidos por cada 1.623 m^3 de madera aserrada seca cepillada desde las empresas del Oeste, y para las empresas del Sur 574 kg de CO_2 , el promedio de emisiones es más alto en las del Sur debido a que se quema mayor cantidad de biomasa en las calderas para el secado que en las empresas del Oeste, pero el CO_2 fósil es más alto en las empresas del Oeste porque se quema gas natural para la caldera. En ambos casos se asume el uso de combustible de los demás equipos así como el consumo del transportador de carga que mueve la materia prima. Los resultados que se obtuvieron de las emisiones en la UCFAS arrojaron que se emiten 238 kg de CO_2 por cada m^3 de madera aserrada

seca sin cepillar, mostrando alto porcentaje en CO₂ biogénico debido a la cantidad de biomasa quemada para la caldera, así mismo también se incluyen los combustibles usados para las máquinas y el transportador de carga, por lo tanto se podría considerar que las emisiones de la UCFAS se encuentran dentro de la cantidad de emisiones generadas en otras empresas como es el caso de las empresas en E.U., sin embargo para tener la certeza de que la UCFAS se encuentra dentro de los niveles estándar, se tendría que adicionar las entradas y salidas del proceso de cepillado ya que en los resultados de las empresas de E.U. se encuentra incluido.

Los compuestos orgánicos volátiles (covs) son emisiones que se generan principalmente del proceso de secado y de otras sustancias orgánicas, la mayoría de covs son generados fuera del sitio y son atribuibles a la electricidad y a la producción de gas natural. Para las empresas del Sur la mayoría de estas emisiones proviene desde la generación eléctrica donde la fuente primaria es el carbón (con un estimado de 848 g), y para las empresas del Oeste desde la hidroeléctrica (129 g), la UCFAS emite 247 g; se observa que las emisiones de la UCFAS son superiores a las de las empresas del Oeste en E.U. pero con emisiones menores con comparación con las empresas del Sur, esto se debe a que las fuentes primaria de energía en México son en su mayoría de origen fósil y con alto porcentaje como fuente el petróleo.

Finalmente Milota concluye su análisis indicando que el proceso de aserrío consume mayor energía eléctrica, sin embargo durante el proceso de secado se hace mayor uso de energía (térmica y eléctrica) es así que es dónde se genera mayor cantidad de emisiones, por lo tanto el proceso de secado es un proceso dominante. Con respecto a esta conclusión los resultados de la UCFAS son similares ya que en el proceso de aserrío se consumió 32.11 kWh/m³ de energía eléctrica, mientras que en el secado fue de 31.34 kWh/m³ más 2,828 MJ/m³ de energía para el secado de madera, generando así una mayor cantidad emisiones de CO₂ en el secado con 220.4 kg/m³ mientras que en el aserrío fue de 17.38 kg/m³ y con unos covs en el secado de 223.32 g/m³ mientras que en el aserrío fue de 23.46 g/m³. Con base a esta comparación de resultados de la UCFAS con las empresas analizadas del Oeste y Sur de USA por Milota, se mantiene un comportamiento similar en cuanto a los procesos productivos y consumos de energía.

Si bien pareciera que el proceso de secado es amigable ambientalmente por el uso de aserrín como biomasa para la caldera, también es el proceso que requiere de mayor cantidad de energía debido a la necesidad térmica y eléctrica; y como las fuentes primarias son fósiles, este proceso contribuye en mayor medida al impacto ambiental, es así que se debe pensar en alguna alternativa que pudiera sustituir las fuentes de energía fósiles, por algunas de origen renovable

considerando las características de la UCFAS, también se tendría que investigar e implementar técnicas de aserrío para disminuir la cantidad de energía eléctrica consumida durante el aserrado.

Proceso de tablero finger joint

Para la segunda etapa del análisis, donde es evaluado el proceso de producción del tablero alistonado finger joint, es importante mencionar que de acuerdo a la literatura revisada, existen dos tipos de tableros los de madera sólida como el plywood, LVL, GLT, Glulam, y los del tipo reconstituidos como el MDP, OSB, MDF, HDF, que en su mayoría son utilizados para la construcción, a excepción del MDF y MDP que se utilizan como materia prima para diferentes muebles.

El tablero finger joint suele ser considerado de madera sólida, ya que está conformado por pedacería de madera sólida que será unida mediante perfiles dentados a través de resina de paraformaldehído; sin embargo no se encontró que en la literatura esté integrado en los tableros de madera sólida, por lo tanto se realizó una búsqueda en bases de datos científicas para encontrar casos semejantes que hayan realizado ACV al tablero alistonado finger joint, obteniendo análisis de diversos tableros a excepción de éste (Tabla 7), esto trae como primer punto a discusión a la presente investigación porque si bien los tableros analizados por los diferentes autores son los de mayor producción e importancia por las empresas productoras de tipo privado que en su mayoría pertenecen a países desarrollados y no se considera el tablero finger joint, quizás porque este tipo de procesos es más bien dirigido a otro tipo de empresas, quizás con menor infraestructura, menor capacidad, o porque es de mayor costo producirlos, esto es solo suposición ya que no se cuenta con un análisis profundo para tener conocimiento de la razón del porque no se encontraron análisis realizados al tablero finger joint, sin embargo esto abre una línea de búsqueda para investigar a profundidad sobre qué tipo de empresas producen el tablero finger joint y hacia qué mercado está dirigido.

Y para tener referencia del comportamiento ambiental del tablero finger joint, se realizó la comparación en términos de funcionalidad como lo indica la norma (ISO 14044, 2006) del tablero finger joint con el tablero MDF, ya que el MDF puede presentar la misma función en un mueble escolar, pudiera ser el caso del escritorio, el locker, o el archivero. Por lo tanto es indispensable tomar en cuenta que la comparación se realizará muy cuidadosamente debido que en términos de proceso de producción y características son totalmente diferentes pero tienen la misma funcionalidad.

Se considera el análisis del MDF que ha sido desarrollado por (Athena Sustainable Materials Institute, 2013) que toma como muestra a 4 empresas de diferentes regiones de Canadá que producen MDF. Donde como unidad funcional se evalúa 1m^3 de tablero mediante el método de impacto TRACI, a través del software SimaPro. En seguida se presenta una breve descripción y los resultados obtenidos de 1m^3 de MDF analizado.

El MDF es un tablero formado a partir de fibras lignocelulósicas combinadas con resina sintética u otro aglutinante adecuado. Los tableros son comprimidos a una densidad de 496 a 801 kg/m^3 en una prensa caliente. Es un análisis *de la cuna a la puerta*, que cubre todos los pasos de producción desde el proceso de residuos de madera hasta el producto terminado listo para embarcarse.

Los límites del sistema incluyen tres procesos principales: preparación de madera: incluye descortezado, astillado, cribado, refinado y soplado; secado de pasta cruda; conformado de tablero: formado y comprimido; y terminado de tablero: enfriado, terminado, lijado y embalado. El peso promedio de densidad del tablero MDF fue determinado de 761 kg/m^3 .

Se define como unidad funcional 1m^3 de tablero MDF con 19.05 mm de espesor con una superficie de 52.5m^2 . El consumo de energía se calculó en base al poder calorífico superior de 20 MJ/kg .

El proceso de producción de MDF consume más energía fósil y bioenergía y es el principal contribuidor en las categorías de impacto. La porción de calentamiento global causada por esta etapa (81%), acerca la relación de consumo de combustibles fósiles (85%), smog, eutrofización, acidificación son también dominados por el proceso de producción (83%-94%).

En seguida se presenta el resumen de resultados del análisis de la producción de 1 m^3 de MDF (Tabla 51)

Tabla 50. Contribución de impacto potencial de la producción de 1m³ de MDF

Categoría	Total	Unidad
Calentamiento global	393.53	kg CO ₂ eq
Acidificación	243.18	H+ moles eq
Eutrofización	2.80E-01	kg N eq
Agotamiento de la capa de ozono	1.40E-08	kg CFC-11eq
Smog	49.62	kgO ₃ eq

Fuente: Athena Sustainable Materials Institute, (2013)

Con respecto al tablero finger joint analizado en el presente documento, se tomó como unidad funcional 1m³ de tablero terminado, así también se realizó la evaluación mediante el software SimaPro v.8. con el método de impacto TRACI, estimando las categorías de impacto de calentamiento global, acidificación, eutrofización, smog y agotamiento de la capa de ozono. La Tabla 52 resume los resultados obtenidos una vez realizada la caracterización del tablero finger joint contrastados con los resultados del tablero MDF.

Tabla 51. Contribución de impacto potencial de la producción de 1m³ de MDF y 1m³ de FJ

Categoría	Total MDF ¹	Total Finger Joint ²	Unidad
Calentamiento global	393.53	186.15	kg CO₂ eq
Acidificación	243.18	779.27	H+ moles eq
Eutrofización	2.80	0.91	kg N eq
Agotamiento de la capa	1.40E-08	0.0003	kg CFC-11eq
Smog	49.62	0.02	g O ₃ eq

Fuente: ¹ Tomado de (Athena Sustainable Materials Institute, 2013) y ² resultados obtenidos según SimaPro v.8.

Los resultados presentados en la tabla anterior indican que el tablero finger joint tiene menor contribución de impacto ambiental en la categoría de calentamiento global, con respecto al

tablero MDF con 186.15 kg CO₂ eq, esto puede deberse a la menor cantidad de energía que se utiliza para el proceso de producción ya que en el caso del MDF la transformación de la madera pasa por más procesos y esta carga se le atribuye al consumo de combustibles fósiles en 85% de las emisiones; para la categoría de acidificación y en la de agotamiento de la capa de ozono, el tablero finger joint presenta mayor contribución ambiental, comparada con los resultados que se obtuvieron en el MDF, no se considera con alto porcentaje de diferencia pero si representa una contribución superior.

Al analizar las categorías de acidificación y de agotamiento de la capa de ozono, en las que el tablero finger joint presenta un alto impacto quizás podría deberse a la cantidad de covs generados durante el proceso de combustión de la mezcla de aserrín para el secado de madera, ya que se necesita mayor cantidad de aserrín debido al bajo poder calorífico comparado con el obtenido por (Milota et al., 2006), además durante el conformado del tablero y el uso del paraformaldehído se emiten otros covs, mismos que al mezclarse con los NO_x (emitidos por los combustibles fósiles), el oxígeno del aire y el vapor de agua se transforman en ácidos para generar la acidificación, se llega a la determinación que el tablero finger joint presenta menor contribución en 3 de las 5 categorías comparadas, pero tampoco se puede asumir que es más amigable al medio ambiente que el MDF, debido a que en el análisis realizado ha sido considerado un solo estudio de caso, por lo tanto que se debe profundizar el análisis incluyendo más casos para determinar que tablero tiene menor contribución de impacto.

Con esto podemos decir que los tableros MDF y finger joint presentan diferentes características, y diferentes cargas ambientales, ya que según los resultados en el presente análisis, por un lado uno contribuye a la carga del calentamiento global y el otro contribuye a la categoría de acidificación, sin embargo no se puede negar que la mayor contribución en ambos es el uso de la resina de formaldehído, por lo tanto es necesario sustituir por alguna resina con menor carga ambiental o buscar alternativas de composición a base de materiales orgánicos.

Una vez obtenida la información anterior, se realizó la comparación entre procesos unitarios dentro de la UCFAS para verificar en que parte del proceso se encuentran los principales *focos rojos*, de esta manera se logró observar que entre la comparación del aserrío, el secado y el proceso de finger joint los resultados de las emisiones fueron 18.31kg CO₂ eq, 45.87 kg CO₂ eq y 186.15 kgCO₂ eq respectivamente, la mayor contribución de impacto se encuentra en el proceso del tablero, ya que la cantidad de energía eléctrica aumenta además del uso de la resina y el uso de los combustibles fósiles.

Mueble escolar terminado

Finalmente para el análisis del mueble terminado, se identificaron 5 tipos de muebles cuya características físicas y funciones son distintas, pero básicamente las entradas de materias primas es el mismo, a diferencia de las cantidades, ya que a mayor volumen del producto, mayor cantidad de materias primas se requieren, las entradas pueden cambiar con respecto a detalles opcionales como herrajes, vidrio o tela que pueda conformar el producto.

Se realizó la evaluación mediante el método de impacto CML, con las siguientes categorías: agotamiento abiótico, acidificación, eutrofización, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad del agua dulce, ecotoxicidad del agua marina, ecotoxicidad terrestre y oxidación fotoquímica.

Se tomó como punto de referencia el trabajo realizado por (Gonzalez-Garcia et al., 2011) donde evalúa el comportamiento ambiental de 1 kg de muebles de madera en interiores y exteriores para determinar si el indicador del calentamiento global puede ser utilizado como criterio de decisión con el fin de seleccionar estrategias de diseño ecológico que reduzcan el impacto ambiental de productos de madera.

Se consideran los productos más importantes dependiendo de la empresa, se clasifican en interiores: cuna-cama convertible, alacena de cocina, mesa de oficina, mueble de salón, cabecera y accesorios de habitación y una caja de vino; como productos exteriores: juego modular de madera, muro de madera ventilada.

Mediante el software SimaPro se realiza el análisis y además de considerar el método de impacto CML v2.1 para cuantificar en término de las emisiones de CO₂.

En seguida se presenta los resultados obtenidos por (González-García et al., 2011) en términos de kg CO₂ eq por producto (Tabla 53).

Tabla 52. Resultados de la evaluación de productos en base a kg CO₂ eq de González-García

Descripción	Peso (kg)	g CO ₂ eq/kg de producto	kg CO ₂ eq/
Cuna-cama convertible	173.9	810	0.81
Alacena de cocina	39.12	3269	3.27
Mesa de oficina	54.85	4842	4.84
Mueble de salón	214.7	2509	2.51
Cabecera	34.8	2426	2.43
Accesorios de habitación	171.4	886	0.89
Caja de vino	1.35	434	0.43
Juego modular de madera	528	1439	1.44
Muro de madera ventilado	168.7	537	0.54

Fuente: (González-García et al., 2011)

Para González-García, la caja de vino es el mejor producto ya que tan solo tiene una carga ambiental de 0.43 kg CO₂ eq y el caso contrario es la mesa de oficina con unos 4.84 kg CO₂ eq, González-García sustenta que la producción de materiales para las entradas como la madera, metales, suministro de energía, requerimientos de insumos, son los problemas principales, ya que contribuyen en mayor medida al impacto global variando desde un 50% hasta el 97% dependiendo del producto. Finalmente se identifican como los principales contribuidores de impacto a los *procesos iniciales*, y es donde la opción de mejoramiento debe estar debido a que se trata comúnmente de empresas de ensamblaje.

Ahora bien en cuanto al análisis desarrollado en la UCFAS se consideraron los productos que tienen mayor demanda y por lo tanto son de mayor producción, se tomó como unidad funcional 1kg de producto terminado, ya que en su mayoría los productos tienen como entradas las mismas materias primas salvo a consideración si llevan accesorios adicionales. Se realizó el ACV con el software SimaPro v.8, mediante el método de impacto CML, y se consideraron las categorías de agotamiento abiótico, acidificación, eutrofización, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad del agua dulce, ecotoxicidad del agua marina, ecotoxicidad terrestre y oxidación fotoquímica. Con respecto al trabajo publicado por González-García nos enfocamos en los resultados de la Tabla 53, para comparar los resultados obtenidos en el análisis de productos de la UCFAS, sin embargo se debe tener sumo cuidado debido a que se trata de productos diferentes, pero con la misma materia prima como principal componente, la madera, esto entonces es solo para considerar los mismos criterios de evaluación, y verificar si los productos fabricados en la UCFAS se encuentran dentro o fuera del estándar (Tabla 54).

Tabla 53. Contribución de impacto de los muebles producidos en la UCFAS

Descripción	Peso (kg)	kg CO2 eq
Silla escolar	14.5	0.63
Mesa escolar	8.31	0.75
Archivero	37.43	0.75
Lócker	28.87	0.82
Escritorio	27.68	0.69

Fuete: Elaboración propia

Según resultados del análisis realizado en la UCFAS, el mueble cuya contribución menor es la silla con 0.63 kg CO eq, y el de mayor contribución el locker con 0.82 kg CO₂ eq. con respecto al resultado obtenido en el análisis de la UCFAS la silla escolar presenta menor contribución ya que se compone únicamente de madera seca sólida, donde el único proceso previo fue el secado, y los materiales como adhesivos, tornillos, barnices representan mínimas cargas comparadas con el secado, al igual que González- García, con la caja de vino que contribuye en menor medida al impacto comparada con los demás productos, esto se debe a que en cierta medida como la materia prima no requiere de mayor proceso su carga ambiental no se acumula por lo tanto será menor.

En la UCFAS el locker es el mueble con mayor contribución al impacto ambiental, caso contrario al de la silla, ya que en mayor medida su materia prima es el tablero finger joint y su carga ambiental entonces ya esta acumulada por el proceso del conformado del tablero con la resina, así como del secado de la madera, más la contribución de los materiales para conformar el locker como adhesivos, barnices, metales, por lo tanto el porcentaje de contribución al impacto se acumula y si se compara con los demás muebles que tienen menor cantidad de tablero finger joint como materia prima, será menor su carga ambiental de estos muebles, lo mismo ocurre en el trabajo de González-García que en su análisis el mueble con mayor contribución es la mesa de oficina, ya que está conformada en mayor parte por tablero de plywood y su contribución será superior comparada con los demás muebles que en su materia prima contengan menor o nulo plywood como materia prima.

Durante el análisis de los muebles se detectó que la energía eléctrica juega el papel fundamental para la contribución de impacto ambiental, en seguida de la resina utilizada en el conformado del

tablero finger joint, los demás materiales como adhesivos, metales (tornillos, herrajes), barnices, plástico para embalaje no representaron cargas ambientales superiores, así como tampoco en el transporte ya que al tratarse de empresas comunitarias logran satisfacer sus requerimientos de materia prima en escala regional.

Considerando los puntos presentados anteriormente la hipótesis establecida *los procesos productivos de la empresa forestal comunitaria contribuyen en menor medida al impacto ambiental, comparados con los procesos productivos de la empresa forestal privada* se prueba de manera parcial ya que en el aserrío y secado presentaron bajos niveles de impacto ambiental, pero en el tablero fj solo presentó valores de menor contribución al impacto ambiental en 3 de 5 categorías consideradas (calentamiento global, eutrofización y smog) y en cuanto el mueble escolar, como en su mayoría está conformado por la tablero, presentará una contribución relativa con respecto a la cantidad de tablero que tenga como materia prima.

Y además se asevera también la segunda hipótesis establecida, *mediante el análisis de ciclo de vida de 1m³ de madera aserrada seca, 1 m³ de tablero finger joint y 1 kg de material de mueble terminado es posible identificar puntos débiles del proceso productivo en la UCFAS para mejorar el desempeño ambiental de los procesos* ya que mediante el análisis de ciclo de vida, con la unidad funcional establecida para cada proceso fue posible identificar los *puntos débiles* de los procesos unitarios, así como realizar comparaciones entre ellos, identificando las emisiones generadas en cada etapa del análisis, para posteriormente realizar la búsqueda de posibles alternativas que ayuden a disminuir la contribución de impacto ambiental y mejoren el desempeño ambiental.

Una alternativa para mejorar el desempeño ambiental de los productos parte de la ecología industrial desde los enfoques prescriptivos como es el ecodiseño que supone los impactos ambientales considerando todo el ciclo del vida del producto o servicio, desde la idea conceptual hasta la disposición final, desde la selección de materiales, disminución de materiales, usos de combustibles, esto es con la ayuda del personal de la empresa, formando grupos de trabajo y estableciendo etapas para la preparación del proyecto considerando aspectos ambientales, así como las ideas de mejora, para desarrollar los nuevos conceptos considerando los detalles del producto, para finalmente ejecutar un plan de acción y posteriormente realizar una evaluación y verificar la contribución de impacto del producto con ecosideño y el producto anterior.

El ecodiseño necesita de la participación del personal de la empresa es importante recibir conocimientos de cómo implementar ecodiseño partiendo desde el diseño conceptual, para esto

la ICOFOSA la integradora a la que pertenece la UCFAS recientemente ha creado el Centro de Capacitación Comunitaria Empresarial donde se imparte capacitación para el mejor desempeño del personal de las EFC esto es una iniciativa más de estas empresas, para mejorar sus capacidades del personal, donde como propuesta es desarrollar capacidades que permitan crear grupos de trabajo para crear iniciativa de ecodiseño en este tipo de empresas

6.2. CONCLUSIONES

Al inicio de la investigación se plantearon preguntas que han dado origen a la presente tesis, una de ellas es *¿Los procesos de producción de productos maderables en la empresa forestal comunitaria UCFAS contribuyen en menor medida al impacto del medio ambiente en comparación a los procesos de producción de productos maderables de las empresas forestales privadas?, ¿Es posible mejorar el desempeño ambiental de los procesos productivos en la UCFAS mediante los resultados obtenidos en el análisis de ciclo de vida?* se dio la tarea de buscar posibles respuestas que ayuden a comprender el papel que desempeñan las empresas forestales comunitarias en relación con las empresas forestales privadas en términos de impactos ambientales, para ello se utilizó la metodología de análisis de ciclo de vida y se evaluaron los siguiente procesos unitarios llegando a las siguientes conclusiones:

Proceso de aserrío y secado

Se identificó que en el proceso de aserrado y secado la UCFAS tiene un desempeño ambiental similar a las empresas forestales privadas en E.U., que la mayor contribución de impacto ambiental se debe al uso de energía eléctrica con origen de fuentes primarias fósiles, las demás entradas y materiales no representaron cargas de impacto ambiental significativas.

Proceso de tablero finger joint

En los procesos de la segunda transformación los resultados indican que el tablero finger joint contribuye en menor medida al impacto ambiental en 3 de 5 categorías consideradas en el estudio arrojando menor contribución en las categorías de Calentamiento global, Eutrofización y Smog; y mostrando un alto impacto en las categorías de Acidificación y Agotamiento de la capa de ozono.

Se obtuvo que la resina de paraformalehído representa una alto índice de contribución de impacto al medio ambiente, además de la energía eléctrica.

De la comparación entre los procesos unitarios de la UCFAS, el aserrío, secado y tablero se identificó el proceso de tablero finger joint como el que mayor contribuye al impacto ambiental.

Mueble escolar terminado

El resultado de la evaluación del mueble escolar, considerando 1 kg de material de producto terminado nos indica que el mueble con mayor contribución al impacto ambiental es aquel mueble que tiene como materia prima algún componente con algún proceso previo, (como el locker compuesto de finger joint) ya que se acumula la carga ambiental al producto final; y surge el caso contrario para el mueble cuya materia prima no haya recibido ningún proceso previo ya que su carga ambiental no estará acumulada y se presentará en menor medida con respecto al producto que si lo tenga. Si consideramos por lo tanto que el 80% de los productos fabricados en la UCFAS tienen como materia prima el tablero finger joint, se asumiría que su contribución al impacto ambiental es mayor, esta afirmación es verdadera en cierta medida, ya que todos los productos contribuyen al impacto ambiental, sin embargo, el tablero finger joint contribuye en menor escala comparado con otros tableros con la misma funcionalidad como es el caso del MDF.

Con respecto a las demás entradas como el transporte o materiales complementarios al proceso no presentaron contribuciones altas al impacto ambiental, esto se debe a que las EFC se integran verticalmente para obtener sus materias primas y se ubican dentro de la zona local/regional cuyas distancias no requieren de cantidades mayores en cuanto al consumo de combustibles y aunque en el presente análisis no se consideró el suministro de materiales ni combustibles, en posibles futuros trabajos será analizado.

Este estudio es una primera aproximación para la evaluación de impactos ambientales potenciales en los procesos productivos en EFC, nos permite tener una visión inicial, representativa de la situación en las EFC. Cabe mencionar que el ACV es una herramienta con la cual nos permite evaluar aspectos ambientales, económicos y sociales.

Finalmente con el presente ejercicio se pretende fomentar, dentro del sector de la industria de la madera y el mueble la implementación del ACV, mediante la cuantificación integral de los impactos producidos por las tecnologías utilizadas en este sector. Los resultados obtenidos han logrado identificar las etapas de cada proceso que contribuyen significativamente al impacto ambiental con respecto a insumos energéticos requeridos, materiales y emisiones. Es indispensable profundizar y crear bases de datos específicas, así como analizar diversos escenarios, tal es el caso del consumo de energía por otra renovable, así como el consumo de

materiales en el tablero finger joint y el mueble escolar. De manera general, los resultados indican que la mayoría de los impactos ambientales se deben principalmente a la combustión de combustibles fósiles para la generación de electricidad en México, además de la selección correcta de las materias primas y el uso de combustibles fósiles.

La principal limitación en la que se enfrentó el presente análisis fue la inexistencia en México de bases de datos propias que contengan información de insumos que se requieren para el ACV.

Recomendaciones

Crear bases de datos para los inventarios de ciclo de vida en relación a la industria forestal abarcando desde la silvicultura, primer y segunda transformación de la madera, hasta la disposición final del producto.

Incorporar el ACV como herramientas de planeación que aporte mayor información para la toma de decisiones en la selección del diseño de productos, selección de materiales, transporte, consumos de energía, etc.

El presente documento se pone a disposición del sector de la madera y el mueble a empresas comunitarias o privadas, la metodología aquí presentada es útil para incorporar el ACV a sus métodos de evaluación de proyectos, así como para crear bases de datos y cuantificar a partir de fundamentos técnicos sus impactos ambientales, con el fin de tomar decisiones que beneficien a los productores y consumidores.

REFERENCIAS

- Acosta, A., Sastre, S., & Ramos, F. (2010). *Gestión Forestal Comunitaria en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México*. Oaxaca, México.
- Aguayo, F., Peralta, M. E., Lama, J. R., & Soltero, V. M. (2011). *ECODISEÑO Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna (C2C)*. España: RC libros.
- Alfaro, M., & Hidalgo, M. (2005). *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina*. Roma, Italia.
- Antinori, C. (2007). Integración vertical en las empresas forestales comunitarias de Oaxaca. In D. Bray, L. Merino, & D. Barry (Eds.), *Bosques Comunitarios de México: Manejo Sustentable de Paisajes Forestales* (Primera., pp. 301–339). México: INE_SEMARNAT.
- Antinori, C., & Bray, D. (2005). Community forest enterprises as entrepreneurial Firms: Economic and institutional perspectives from Mexico. *World Development*, 33(9), 1529–1543. doi:10.1016
- Athena Sustainable Materials Institute. (2013). *A Cradle to gate life cycle assessment of Canadian Medium Density Fiberboard (MDF) -2013 update*. Ottawa, Canada.
- Ayres, R. U., & Ayres, L. W. (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*. (R. U. Ayres & L. W. Ayres, Eds.) (First.). Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited.
- Barkin, D. (2008, April). Argumento. Estudios críticos de la sociedad. *Nueva Época, Año 21*(56), 7–15.
- Barry, D., Bray, D., Madrid, S., Merino, L., & Zúñiga, I. (2010). *El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático: las comunidades nos muestran el camino*. (CCMSS, Ed.) (Primera.). México: Punto verde consultores S.C.
- Bebbington, J., & Gray, R. (2001). An Account of Sustainability: Failure, Success and a Reconceptualization. *Critical Perspectives on Accounting*, 12(5), 557–587.
- Bermejo, R. (2001, April). Fundamentos de ecología industrial. *Bakeaz*, (44), 1–18.
- Berumen, S. A., & Fehrmann, J. (2008). Introducción. In S. A. Berumen (Ed.), *Nuevas Estrategias de Gestión en la Economía de la Innovación* (Primera., p. 180). Madrid-Barcelona-Buenos Aires: Marcial Pons.
- Boons, F., Montalvo, C., Quist, J., & Wagner, M. (2013). Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 45, 1–8.
- Bray, D., Antinori, C., & Torres-Rojo, J. M. (2006). The Mexican model of community forest management: The role of agrarian policy, forest policy and entrepreneurial organization. *Forest Policy and Economics*, 8(4), 470–484. doi:10.1016/j.forpol.2005.08.002
- Bray, D., Durán, E., Merino, L., Torres, J. M., & Velázquez, A. (2007). *Nueva evidencia: Los bosques comunitarios de México. Protegen el ambiente, disminuyen la pobreza y*

- promueven paz social*. México.
- Bray, D., & Merino, L. (2004). *La experiencia de las comunidades forestales en México*. (CCMSS, Ed.) (Primera.). México: INE_SEMARNAT.
- Bray, D., Merino, L., & Barry, D. (2007). *Los Bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales* (1st ed.). México: IEPSA.
- Bray, D., Merino-Pérez, L., Negreros-Castillo, P., Segura-Warnholtz, G., Torres-Rojo, J. M., & Vester, H. F. M. (2003). Bosques Manejados Comunalmente en México como un Modelo Global de Paisajes Sostenibles. *Conservation Biology*, *17*(3), 672–677. doi:10.1046/j.1523-1739.2003.01639.x
- Briggs, D. G. (1994). *Forest products measurements and conversion factors: with especial emphasis on the U.S. Pacific Northwest* (First.). USA: College of Forest Resources, University of Washington.
- Cabeza, M. (1996). The concept of weak sustainability. *Ecological Economics*, *17*, 147–156.
- Carpintero, Ó. (2009). Introducción: La economía ecológica como enfoque abierto y transdisciplinar (pp. 12–33). Madrid: Círculo de Bellas Artes.
- Carrillo, G. (2009). Una revisión de los principios de la Ecología Industrial. *Argumentos*, (59), 247–265.
- Carrillo, G., & Hernández, R. (2011). Adaptación al cambio climático desde la industria: una visión integral. *Política Y Cultura*, (36), 99–123.
- Carrillo-Hermosilla, J., Del Rio, P., & Könnöla, T. (2010). Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, *18*, 1070–1083.
- Castiblanco, C. (2007). La economía ecológica: Una disciplina en busca de autor. *Gestión Y Ambiente*, *10*(3), 7–21.
- CCMSS. (2014, August). Red de monitoreo de políticas públicas. *Crisis Del Sector Forestal Mexicano, Nuevos Indicadores Y Evidencias*, 7.
- Centro Mario Molina. (2014, January). Análisis de ciclo de vida: Edificaciones, 1–8.
- Chacón, J. R. (2008, December). Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). con una bibliografía selecta. *Revista de La Escuela Colombiana de Ingeniería*, *18*(72), 37–70.
- Chapela, F. (2007). El manejo forestal comunitario indígena en la Sierra de Juárez, Oaxaca. In D. Bray, L. Merino, & D. Barry (Eds.), *Los bosques comunitarios de México: Manejo sustentable de paisajes forestales* (Primera., pp. 123–145). México: CCMSS.
- Charter, M., & Clark, T. (2007). Sustainable Innovation. The Centre of Design. In *Key conclusions from Sustainable Innovation Conferences 2003–2006 organised by The Centre for Sustainable Design*. UK: The Centre for Sustainable Design.
- Charter, M., Gray, C., Clark, T., & Woolman, T. (2008). Review: the role of business in realising

- sustainable consumption and production. *The Centre for Sustainable Design*, 24.
- Clay, J. (2002). *Community-based natural resource management within the new global economy: challenges and opportunities*. Washington, DC.
- Common, M., & Stagl, S. (2008). *Introducción a la Economía Ecológica*. Barcelona, España: Reverté.
- CONAFOR-SEMARNAT. (2005). *Diagnóstico del Comercio Internacional Forestal de México*. MEXICO.
- CONUEE. (2009). *Metodologías para la cuantificación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de Consumos Energéticos Evitados por el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. México.
- Correa, F. (2006). Antecedentes y evolución de la economía ecológica. *Semestre Económico*, 9(17), 13–41.
- CORRIM. (2001). *Research Guidelines for Life Cycle Inventories*. Washington, Seattle.
- Costanza, R. (1991). *Ecological economics: the science and management of sustainability*. (R. Costanza, Ed.) (Primera.). New York, USA: Columbia University Press.
- Côté, R. P. (2007). The industrial ecology seminar ENVI5044. School for Resource and Environmental Studies.
- Cronkleton, P., Bray, D., & Medina, G. (2011). Community Forest Management and the Emergence of Multi-Scale Governance Institutions: Lessons for REDD+ Development from Mexico, Brazil and Bolivia. *Forests*, 2(2), 451. doi:10.3390/f2020451
- de Grammont, H. C. (2004). La nueva ruralidad en América Latina. *Revista Mexicana de Sociología*, 66, 279–300. doi:10.2307/3541454
- Diario Oficial de la Nación. DECRETO por el que se aprueba el Programa Nacional Forestal 2014-2018 (2014). México.
- Ehrenfeld, J. (2004). Industrial ecology: a new field or only a metaphor? *Journal of Cleaner Production*, 12(8–10), 825–831. doi:10.1016/j.jclepro.2004.02.003
- EPA. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and practice*. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 1–10.
- Eshun, J. F., Potting, J. J., & Leemans, R. (2010). Inventory analysis of the timber industry in Ghana. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(7), 715–725. doi:10.1007/s11367-010-0207-0
- Esquivel, L. (2006). *Responsabilidad y Sostenibilidad Ecológica. Una ética para la vida*. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- EUROPEN. (2005). Understanding the difference between Life Cycle Thinking and Life Cycle

Assessment. St. Joseph Print Group.

- FAO. (2010a). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2010b). *Impact of the global forest industry on atmospheric greenhouse gases* (2010th ed., Vol. 1). Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Farquhar, J. D. (2012). *What is Case Study Research? Case Study Research for Business*.
- Fisher-Kowalski, M., & Hüttler, W. (1999). Society's Metabolism, 2(4), 107–136. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1162/jiec.1998.2.4.107/pdf>
- Flores, M., Cherian, M., & Böer, C. (2008). Towards a sustainable innovation framework to assess new Indo-Swiss collaboration scenarios. *International Federation for Information Processing*, 283(Pervasive Collaborative Networks), 555–566.
- Forest Products Laboratory. (1999). *Wood Handbook- Wood as an engineering material*. (United States Department of Agriculture, Ed.) (First.). Madison, WI: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Fox, J. (1995). Governance and rural development in Mexico: state intervention and public accountability. *The Journal of Development Studies*, 21(1), 1–30.
- Frosch, R. A. (1992). Industrial ecology: A philosophical introduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(8), 3669–3669.
- FSC. (2001). *Resumen Público de Certificación de la Comunidad de Ixtlán de Juárez. Red SmartWood Program*. New York-USA.
- García, E. (2008). Economía ecológica frente a economía industrial. El caso de la industria de la curtiduría en México. *Argumentos*, 21(56), 55–71.
- Garner, A., & Keoleian, G. A. (2005, November). Industrial Ecology: An Introduction. *Pollution Prevention and Industrial Ecology*.
- Gerez, P., & Purata, S. E. (2008). *Guía Práctica Forestal de Silvicultura Comunitaria* (Primera.). México: SEMARNAT-CONAFOR-CCMSS-PPI.
- Giarraca, N. (2001). ¿Una nueva ruralidad en América Latina? In N. Giarraca (Ed.), *Globalización y Nueva ruralidad en América Latina* (pp. 45–65). Buenos Aires, Argentina: CLACSO.
- González-García, S., Feijoo, G., Heathcote, C., Kandelbauer, A., & Moreira, M. T. (2011). Environmental assessment of green hardboard production coupled with a laccase activated system. *Journal of Cleaner Production*, 19(5), 445–453. doi:10.1016/j.jclepro.2010.10.016
- González-García, S., Feijoo, G., Widsten, P., Kandelbauer, A., Zikulning-Rusch, E., Moreira, M. T., ... Moreira, M. T. (2009). Environmental performance assessment of hardboard manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), 456–466. doi:10.1007/s11367-009-0099-z

- Gonzalez-Garcia, S., Garcia Lozano, R., Teresa Moreira, M., Gabarrell, X., Rieradevall i Pons, J., Feijoo, G., ... Murphy, R. J. (2012). Eco-innovation of a wooden childhood furniture set: An example of environmental solutions in the wood sector. *Science of the Total Environment*, 426, 318–326. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.077
- González-García, S., Gasol, C. M., Lozano, R. G., Moreira, M. T., Gabarrell, X., Rieradevall i Pons, J., & Feijoo, G. (2011). Assessing the global warming potential of wooden products from the furniture sector to improve their ecodesign. *Science of The Total Environment*, 410(411), 16–25. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.09.059
- Gonzalez-Garcia, S., Javier Silva, F., Teresa Moreira, M., Castilla Pascual, R., Garcia Lozano, R., Gabarrell, X., ... Feijoo, G. (2011). Combined application of LCA and eco-design for the sustainable production of wood boxes for wine bottles storage. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(3), 224–237. doi:10.1007/s11367-011-0261-2
- González-García, S., Lozano, R. G., Buyo, P., Pascual, R. C., Gabarrell, X., i Pons, J. R., ... Feijoo, G. (2012). Eco-innovation of a wooden based modular social playground: application of LCA and DFE methodologies. *Journal of Cleaner Production*, 27, 21–31.
- Gorreé, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., ... Udo de Haes, H. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. (J. Guinée, Ed.). Holanda: Kluwer Academic Publishers.
- Graedel, T. (1994). Industrial Ecology and Global Change. In R. H. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout, & V. Thomas (Eds.), *Industrial Ecology: Definition and Implementation* (Fisrt., p. 503). Cambridge, U.K.: United Kingdom at the University Press.
- Guajardo, J. C. (2001). *Conceptualización y elementos de discusión en torno al desarrollo sustentable en Chile y su sector minero*. Chile.
- Guinée, Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., ... Rydberg, T. (2010). Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Environmental Science & Technology*, 45, 90–95.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *American Association for the Advancement of Science*, 162(3859), 1243–1248.
- Hernández, B. (2011, June). *Organización comunitaria para la producción e innovación sustentable: el caso de la Unidad Comunal Forestal Agropecuaria y de Servicios de Ixtlán de Juárez Oaxaca*. CIIDIR- IPN, Oaxaca, México.
- Hernández, V., & Regino, P. (2010). Análisis y desarrollo de mercado para productos rurales sustentables (AyDMPRS): Caso Santa María Temaxcaltepec, Juquila, Oaxaca. *Naturaleza Y Desarrollo*, 8(2), 23–38.
- Hofstra, N. (2008). DIME International Conference. In *The role of Nature in Sustainable Innovation* (p. 17). Bordeaux, France: University Montesquieu Bordeaux IV.
- Horbach, J. (2005). *Indicator Systems for Sustainable innovation*. (E. Feess, J. Hemmelskamp, H. Joseph, & M. Lehmann-Waffenschmidt, Eds.). Germany: Physyca-Verlag Heidelberg

New York.

- IHOBE. (2009). *Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto*. (S. A. S. P. de G. A. IHOBE, Ed.) (Primera.). País Vasco: IHOBE, S.A. Sociedad pública de Gestión Ambiental.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014. Synthesis Report*. (C. Writing Team, R. K. Pachauri, & L. Meyer, Eds.). Subject to final copy-edit and layout.
- Iritani, D. R., Silva, D. A. L., Saavedra, Y. M. B., Grael, P. F. F., & Ometto, A. R. (2015). Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, 308–318.
- ISO 14040. (2006). *Gestión Ambiental- Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia*.(ISO 14040:2006). Geneva: AENOR.
- ISO 14044. (2006). *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices* (ISO 14044:2006). Geneva: AENOR.
- ITTO. (2005). Achieving the ITTO Objective 2000 and Sustainable Forest management in Mexico. In *Thirty-Ninth Session* (Vol. 2, p. 12). Yokohama, Japón: International Tropical Timber Organization.
- Johnson, L. R., Lippke, B., Marshall, J. D., & Cornick, J. (2004). *Module A. Forest resources Pacific Northwest and Southeast*.
- Kline, D. E. (2005). Gate-to-gate life cycle inventory of oriented strandboard production. *Special Issue*, (37), 74–84.
- Klooster, D. (1996). Cómo no conservar el bosque: la marginación del campesino en la historia forestal mexicana. *Cuadernos Agrarios*, 14, 144–156.
- Krysiak, F. c. (2005). Entropy, limits to growth, and the prospects for weak sustainability. *Ecological Economics*, 58, 182–191.
- Laine, M. (2005). Meanings of the term “sustainable development” in Finnish corporate disclosures. *Accounting Forum*, 29(4), 395–413.
- Leontief, W. (1986). *Input-Output Economics*. (W. Leontief, Ed.) (Second.). New York, USA: Oxford University Press, Inc.
- Levitt, T. (1965). Exploit the Product Life-Cycle. *Harvard Business Review*, 43(6), 81–94.
- Lozano, K. (2011). La cadena de valor de la industria del mueble en México. Problemas y perspectivas. In Centro Banamex (Ed.), *Ciclo de Conferencias de la Magna Exposición Mueblera* (p. 16). México: DEpartamento de Geografía y Ordenación territorial, CUCSCH.
- Macedo da Costa, M. (2002, December). *Principios de Ecología Industrial aplicada a la sostenibilidad del medio ambiente y a los sistemas de producción de acero*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Madrid, L., Núñez, J. M., Quiroz, G., & Rodríguez, Y. (2009). La propiedad social forestal en

- México. *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*, 1(2), 179–196.
- Maffi, L. (2005). Linguistic, Cultural, and Biological Diversity. *Annual Review of Anthropology*, 34(1), 599–617. doi:10.1146/annurev.anthro.34.081804.120437
- Manrique, N. (2009, November). Estado del arte de la Economía Ecológica: Tesis centrales. 3, 113–129.
- Martinelli, D. (2008). Anthropocentrism as a social phenomenon: semiotic and ethical implications. *Social Semiotics*, 18(1), 79–99.
- Martinez Alier, J. (2006). Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad. *Polis, Revista de La Universidad Bolivariana*, 5(013).
- Martínez, C. (2006). El método de estudio de caso: Estrategia Metodológica de la Investigación Científica. *Pensamiento & Gestión*, (20), 165–193.
- Massanet, M. J. (2003). *La Gestión Medioambiental en las empresas cerámicas de Castellón*. (Primera.). Valencia, Spain: Athenea.
- Maxwell, J. A. (1998). Handbook of Applied Social Research Methods. In D. J. Bickman, Leonard Rog (Ed.), *Designing a Quality Study* (First., pp. 69–100). CA, USA: SAGE Publications, Inc.
- Meléndez, J. M., & De Torres, M. (2011). La biomasa forestal. Su importancia en la provincia de Guadalajara. *Foresta*, 50–57.
- Mendoza, N., & Fernández, E. (2015). *Sobrerregulación Forestal. Un obstáculo para el desarrollo sustentable de México*. México.
- Merino, L. (1997). *El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad* (1st ed.). Cuernavaca, México: UNAM.
- Merino, L., Rodríguez, J., Ortiz, G., & García, A. (2008). *Estudio estratégico sobre el sector forestal mexicano*. (L. Merino, Ed.) (Primera.). México: CCMSS.
- Merino, L., & Segura, G. (2002). El Manejo de los Recursos Forestales en México (1992-2002). Procesos, tendencias y políticas públicas. In E. Leff, E. Ezcurra, I. Pisanty, & L. P. Romero (Eds.), *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*. (Primera., pp. 237–256). México: INE-SEMARNAT, UNAM, PNUMA.
- Merino-Pérez, L., & Segura-Warnholtz, G. (2007). Las políticas forestales y de conservación y sus impactos en las comunidades forestales en México. In D. Bray, L. Merino, & D. Barry (Eds.), *Los bosques comunitarios de México: Manejo sustentable de paisajes forestales*.
- Milota, M. R., West, C. D., & Hartley, I. D. (2006). Gate to gate life cycle inventory of softwood lumber production. *Wood and Fiber Science*, 37, 47–57.
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). LCA for assessing environmental benefit of eco-design strategies and forest wood short supply chain: A furniture case study. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(8), 1536–1550. doi:10.1007/s11367-014-0757-7

- Molnar, A., Bracer, C., Khare, A., White, A., & Bull, J. (2007). *Empresas Forestales Comunitarias en Países Forestales Tropicales: Situación Actual y en Potencia*.
- Monje, C. (2011). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa. Guía didáctica*. Neiva, Colombia.
- Moro, C., Carlos de Francisco, A., Medes da Luz, L., Henrique de Paula, T., & Messias, J. V. (2014). Environmental profile analysis of MDF panels production: Study in a Brazilian technological condition. *CERNE*, 20(3), 409–418. doi:10.1590/01047760201420031619
- Murphy, F., Devlin, G., & McDonnell, K. (2015). Greenhouse gas and energy based life cycle analysis of products from the Irish wood processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 92, 134–141. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.001
- Murphy, R. (2004). *Review on information of life cycle analysis of tropical timber products*.
- Ostrom, E. (2011). *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las Instituciones de acción colectiva*. (UNAM, Ed.) (2da edición.). México: Fondo de Cultura Económica.
- Presidencia de la República. Segundo Informe de Gobierno. (2014). México: Presidencia de la República.
- Product Category Rules. (2011). *North American Structural and Architectural Wood Products*.
- Puettmann, M. E., & Wilson, J. B. (2005). Gate-to-gate life-cycle inventory of glued-lamited timbers production. *Special Issue*, 37, 99–113.
- Puettmann, M., Oneil, E., Milota, M., & Johnson, L. (2013). *Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Southeast*.
- Purser, R. E., Park, C., & Montuori, A. (1995). Limits to Anthropocentrism: Toward an Ecocentric Organization Paradigm? *The Academy of Management Review*, 20(4), 1053–1089.
- Ramírez, R. (2010). Manejo y conservación del patrimonio natural en Ixtlán de Juárez. In J. Carabias, J. Sarukhán, J. De la Maza, & C. Galindo (Eds.), *Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito*. (Primera., p. 240). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Redondo, Ó. C., & Carpintero, Ó. (2005). *El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica(1955-2000)*. España: Fundación César Manrique.
- Regino, J., Yali, W., & Carpenter, C. (2015). The role of forest resources in the performance of community forest enterprise in Mexico : Analytical framework from competitive strategy. *Internacional Journal of Sciences*, 4(05), 14–24.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32(2), 319–332. doi:10.1016/S0921-8009(99)00112-3
- Reuter, M., Heiskanen, K., Boin, U., Schaik, A. Van, Verhoef, E., Yang, Y., & Georgalli, G.

- (2005). *The metrics of material and metal ecology: harmonizing the resource, technology and environmental cycles*. (B. A. Willis, Ed.) (1a ed.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Reuter, M., & K, H. (2005). Chapter 2 Sustainability and industrial ecology (Vol. Volume 16, pp. 41–62). Elsevier.
- Riba, R. C. (2011). *Recursos energètics i crisi. La fi de 200 anys irrepetibles*. (I. D. Politècnica, Ed.) (Primera.). Barcelona, España: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitales de la UPC.
- Riechmann, J. (2006). *Biomímesis: ensayos sobre imitación de la naturaleza, ecosocialismo y autocontención*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Rieradevall, J. (2012). *Ecodiseño estrategia clave para la ecoinnovación de productos y servicios*. Barcelona, España.
- Rivela, B. (2012). *Propuesta metodológica de aplicación sectorial de análisis de ciclo de vida (ACV) para la evaluación ambiental de la edificación en España*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rivela, B., Hospido, A., Moreira, T., & Feijoo, G. (2006). Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 106–113. doi:10.1065/lca2005.05.206
- Robles, H. M., & Ruiz, A. J. (2012). *Presupuestos para la agricultura familiar y campesina en México* (Primera.). México: OXFAM-MÉXICO.
- Rodriguez, R. (2012). *Propiedades físicas de la madera de pinus patula schl. et cham., y pinus pseudostrobus lindl., de la región de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca, México.
- Roux, R., García, V., & Espuna, J. (2014). Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. *Nova Scientia*, 7(13), 243–266.
- Rovira, S., & Hiriart, C. (2014). *Innovación sustentable: espacios para mejorar la competitividad de las pymes argentinas*. Santiago de Chile.
- Sagar, A. D., & Frosch, R. A. (1997). A perspective on industrial ecology and its application to a metals-industry ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 39–45. doi:10.1016/S0959-6526(97)00006-1
- Sarabia S., F. J. (1999). *Metodología para la investigación en marketing y dirección de empresas*. Ediciones Pirámide.
- Sartorius, C. (2006). Second-order sustainability – conditions for the development of sustainable technologies in a dynamic environment. *Ecological Economics*, 58, 268–286.
- Sarukhàn, J., Koleff, P., Carabias, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., ... de la Maza, J. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso

de la Biodiversidad, México.

- Sastre, S. (2008). *Análisis de la gestión forestal comunitaria y sus implicaciones sociales en Ixtlán de Juárez, Oaxaca (México)*. Madrid.
- Segura, G., Merino-Pérez, L., Bray, D., & Cárdenas, A. (2003). XII World Forestry Congress. In *Manejo forestal comunitario en México: Un modelo emergente de manejo sustentable de ecosistemas forestales*. Québec, Canada: XII World Forestry Congress.
- SEMARNAT. (2014). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2013*. México.
- SENER. (2013). *Balance Nacional de Energía 2012*. México.
- Shrivastava, P. (1994). CASTRATED Environment: GREENING Organizational Studies. *Organization Studies*, 15(5), 705–726.
- Snow, C. C., & Thomas, J. B. (1994). Field Research Methods in Strategic Management: Contributions to Theory Building and Testing. *Journal of Management Studies*, 31(4), 457–480. doi:1467-6486.1994.tb00626.x
- Sonnemann, G., Vigon, B., Rack, M., & Valdivia, S. (2013). Global guidance principles for life cycle assessment databases: development of training material and other implementation activities on the publication. *International Journal Life Cycle Assessment*, 18(5), 1169–1172.
- Soto, M. del R., & Medellín, E. (2010). La innovación y el empresario innovador en Drucker. In CONCYTEG (Ed.), *SINNCO 2010* (pp. 1–19). Guanajuato: CONCYTEG.
- Tibbs, H. B. C. (1993). Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry. *Whole Earth Review*, 2–28.
- Toledo, H. (2012, June). *Instituciones e integración vertical de las empresas forestales comunitarias de productos maderables de Oaxaca: caso ICOFOSA*. CIIDIR-IPN, Oaxaca, México.
- Torres, C. E. T. (2011). Las versiones del desarrollo sostenible. *Sociedade E Cultura*, (1), 195–204.
- UCFAS. (2013). Antecedentes: Actividades Productivas de Ixtlán de Juárez.
- Udo de Haes, H. A. (2002). Industrial Ecology and Life cycle assessment. In R. U. Ayres & L. W. Ayres (Eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (First., pp. 138–148). Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited.
- UNEP. (2003). *Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment*. (United Nations Publication, Ed.). Roma, Italia: UNEP.
- UNEP. (2004). *Why Take a Life Cycle Approach?* St. Joseph Print Group.
- UNEP, & SETAC. (2011). *Global guidance principles for Life Cycle Assessment Databases*. UNEP.
- Valdés, O. A., & Negreros-Castillo, P. (2002). *El manejo forestal comunitario en México*.

- Vázquez-Maguirre, M., & Portales, L. (2014). La empresa social como detonadora de calidad de vida y desarrollo sustentable en comunidades rurales. *Pensamiento & Gestión*, (37), 255–284.
- Vega, A., & Flores, M. V. (2011). *La industria del mueble y productos de madera. Un análisis sistémico de su situación competitiva en la región Tijuana-Rosarito B.C. México.* (A. Vega & F. M. V., Eds.) (Primera.). México: Ediciones ILCSA S.A. de C.V.
- Vilches, A., Gil Pérez, D., Toscano, J. C., & Macías, O. (2015). La sostenibilidad como revolución cultural, tecnocientífica y política.
- WCED. (1987). *Report of the Commission on Environment and Development.* Nairobi.
- Wilén, C., Moilanen, A., & Kurkela, E. (1996). *Biomass feedstock analyses.* (T. R. C. of Finland, Ed.) (First.). Vuorimiehentie, Finland: VTT Publications 282.
- Wilson, J. (2010). Life-cycle inventory of medium density fiberboard in terms of resources, emissions, energy and carbon. *Wood and Fiber Science*, 42, 107–124.
- Wilson, J. B. (2010a). Life cycle inventory of formaldehyde based resins used in wood composites in terms of resources, emissions, energy and carbon. *Wood and Fiber Science*, 42(CORRIM Special Issue), 125–143.
- Wilson, J. B. (2010b). Life cycle inventory of medium density fiberboard in terms of resources, emissions, energy and carbon. *Wood and Fiber Science*, 42(Special), 107–124.
- Wilson, J. B., & Dancer, E. R. (2005). Gate-to-gate lyfe-cycle inventory of laminated veneer lumber production. *Special Issue*, 37, 114–127.
- Wilson, J. B., & Sakimoto, E. T. (2005a). Gate to gate life cycle inventory of softwood plywood production. *Wood and Fiber Science*, 37(Special), 58–73.
- Wilson, J. B., & Sakimoto, E. T. (2005b). Gate-to-gate life cycle inventory of softwood plywood production. *Special Issue*, 37, 58–73.
- Yin, R. K. (2002). *Applications of case study research* (Second.). CA- USA: SAGE Publications, Inc.

ANEXO1

Precusores y continuadores de la Economía Ecológica

PRECURSORES (XIX-Principios XX)	CONTINUADORES (1970-actual)
<p>Sergei Podolinsky (1880):</p> <ul style="list-style-type: none"> Estudió la economía humana, como un sistema de conversión de energía. Desarrolla concepto de rendimiento energético tratando de combinar este enfoque ecológico con teoría marxista. Construyó primer indicador de sostenibilidad. 	<p>Sigfried Von Ciriacy-Wantrup :</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrolla el concepto de estándar mínimo de seguridad – EMS-. Reconoce la existencia de un nivel crítico de algunos bienes naturales, por debajo del cual puede afectarse la sostenibilidad del sistema. <p>Karl William Kapp (1952):</p> <ul style="list-style-type: none"> La política económica debe ser guiada por un concepto esencial de racionalidad Definición de “costes sociales”, como aquella que abarca todas las pérdidas, directas o indirectas, soportadas por terceras personas o por el público en general, como resultado del desarrollo ilimitado de actividades económicas <p>Keneth Ewart Boulding (1966):</p> <ul style="list-style-type: none"> La economía de la nave espacial llamada Tierra Analiza la relación entre el proceso económico y el medio ambiente, utilizando algunos principios de la Física (Ley de la Entropía) <p>Paul Elrich (1968). La bomba demográfica</p> <p>Donella y Dennis Meadows y Jorgen Randes (1972) Los límites al crecimiento.</p>
<p>Patricks Geddes (1884):</p> <ul style="list-style-type: none"> Visión de la Economía como subsistema del sistema físico-químico y biológico más amplio (conocimiento de Leyes de la conservación de los materiales y disipación de la energía) Para conocer mejor relaciones ecológicas de sociedad industrial, propone construir matriz económico-ecológica integrada (MIO). 	<p>Nicolás Georgescu-Roegen (1964)</p> <ul style="list-style-type: none"> La Ley de la Entropía y el Proceso Económico Proceso económico, leyes de la entropía, como un proceso irreversible que transforma materia y energía (con baja entropía) en residuos (de alta entropía). De otro lado, el carácter entrópico de los procesos económicos es la raíz de la escasez, pues la materia y la energía son escasas, en la medida en que los recursos accesibles son limitados.
<p>Frederick Soddy (1920):</p> <ul style="list-style-type: none"> Estrecha conexión entre Economía y consumo energético. Basó su crítica del moderno sistema industrial en el carácter disipador de éste, asentado en el consumo creciente de recursos naturales no renovables. La ética y las leyes humanas no deben ir contra de los principios termodinámicos, “los problemas físicos de la vida son problemas energéticos” 	<p>Herman Daly y el estado estacionario (1991):</p> <ul style="list-style-type: none"> Las tasas de recolección deben ser iguales a las tasas de regeneración (producción sostenible): capacidad de regeneración. Las tasas de emisión de residuos deben ser iguales a las capacidades naturales de asimilación de los ecosistemas a los que se emiten los residuos <p>Robert Costanza (1991)</p> <ul style="list-style-type: none"> Trabajos de valoración y modelación de sistemas Concepto de EE como ciencia de la gestión de la sostenibilidad y ciencia transdisciplinaria <p>Joan Martínez-Alier,</p> <ul style="list-style-type: none"> Origen de la historia de la EE La importancia del segundo principio de la termodinámica para la economía: la energía no se puede reciclar <p>Robert Ayres</p> <ul style="list-style-type: none"> Metabolismo industrial y los límites del crecimiento <p>José Manuel Naredo Pérez</p> <ul style="list-style-type: none"> Propuesta reconciliadora entre las raíces eco – Economía/Ecología-, el enfoque ecointegrador: debe abarcar no sólo los recursos existentes en su estado natural, antes de la intervención humana, sino también los residuos que genera dicha intervención. <p>Soporte Institucional: Ecological Economics, International Society for Ecological Economics (ISEE), REDIBEC, etc.</p>

Fuente: Elaboración propia en base a Correa (2006) y Pérez (2009)

ANEXO 2

Evolución del Análisis de Ciclo de Vida

Año	Europa	Estados Unidos	México	Otros países
1963		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se presenta el Informe de Harold Smith, ante la Conferencia Mundial de Energía, sobre los impactos ambientales de los productos. 		
1969		<ul style="list-style-type: none"> ✓ El Midwest Research Institute (MRI) desarrolla un estudio –ancestro de los ACV, al que se llamó “Resources and Environmental Profile Análisis (REPA)”, donde se analizaron diferentes embases, para (Harry E. Teasley) Coca Cola Company (Hunt y Franklin, 1996). 		
1971		<ul style="list-style-type: none"> ✓ El segundo REPA realizado por MRI fue para Mobil Chemical Company, se analizaron las charolas de espuma de poliestireno y las charolas de pulpa de papel (Hunt y Franklin, 1996). ✓ Se publican largas porciones de las bases de datos y se describe la metodología de los REPA (Franklin y Hunt, 1972; Hunt y Franklin, 1973; Hunt y Welch, 1974; Cross et al., 1974 y Hunt y Franklin, 1976). 		
1972	<ul style="list-style-type: none"> ✓ En el Reino Unido, Ian Boustead calcula la energía total utilizada en la producción de contenedores de botellas de leche (Boustead I. 1972) ✓ Se publica el informe Los límites del crecimiento (<i>Limits to growth</i>), escrito por Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers y William W. Behrens III, y auspiciado por el Club de Roma ✓ Se publica Un plan para la sobrevivencia (<i>A blueprint for survival</i>), escrita por Edgar Goldsmith y Robert Allen ✓ Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente Humano realizada en Estocolmo (USEPA, 2000). 			
1973	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Embargo de la OPEP (Países Exportadores de Petróleo) a los países de Europa y Estados Unidos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se desarrolla el primer software de ACV financiado por una empresa cliente de MRI. 		
1974	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aparece en la revista The Times Magazine un aviso publicitario de la Fiat que incorpora elementos de pensamiento de ciclo de vida ✓ En Suiza, se elabora el primer ecobalance en la empresa Rocco Conserves, elaborado por ETHZ y HSG 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos publica el reporte “Resource and Environmental Profile Análisis of Nine Beverage Container Alternatives”, que marca la entrada de los REPA dentro del dominio público (Hunt y Franklin, 1974). ✓ Se realizan avances y contribuciones del ACV publicados en el Journal Energy Policy 		
1975		<ul style="list-style-type: none"> ✓ El sector público pierde interés en los REPA pero se realizan muchos estudios confidenciales para compañías particulares (Bider, et al., 1980) ✓ Se funda la firma Franklin Associates, pionera en Estados Unidos y en el mundo en la elaboración de estudios de ACV ✓ U.S Federal Energy Agency pone a disposición del público bases de datos y la metodología REPA ✓ Publica Thomas, J.A.G., el libro: Energy Analysis, ipc science and technology press & Westview Press 		
1978		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Publicación parcial del estudio de ACV de Good Year Tire & Rubber Co. 		
1979	<ul style="list-style-type: none"> ✓ En Reino Unido, Ian Boustead publica el “Handbook of Industrial Energy Análisis” (Astrup, et al., 1997). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se funda la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) organización líder en el desarrollo de ACV. 		
1980	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se publica un reporte por el Solar Energy Research Institute en los Estados Unidos (Bider, et al., 1980) 		

Año	Europa	Estados Unidos	México	Otros países
1982	✓ Se definen los principios básicos del PLA (Product Line Analysis). Los pioneros son el Öko Institut en Freiburg y IOW			
1984	✓ El Laboratorio Federal Suizo para el Ensayo y la Investigación de Materiales (EMPA), publicó un estudio de materiales de envase y embalaje que introducía un método para agregar los distintos impactos ambientales en un solo índice, el llamado "método de los volúmenes críticos" (Druiff, 1984).			
1985	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Expedición de la Directiva 85/339 de la Comunidad Económica Europea sobre envases de alimentos líquidos que incorpora el pensamiento de ciclo de vida. ✓ En Alemania, Franklin Associates hace el estudio "Comparative energy and environmental impacts of 21 PET and 11 refillable glass bottles used for soft drink delivery in Germany" ✓ En Suecia, ABT Tetra Pak encarga a M.P. Lundholm y G. Sundström la elaboración del estudio "Resource and environmental impact of Tetra Brik carton and refillable and non-refillable glass bottles. Tetra Brik Aseptik Environmental Profile" 			
1987	✓ Informe de la Comisión Brundtland titulado "Nuestro futuro común".			
1988	✓ La crisis de los residuos sólidos en USA y la actividad ambiental en Europa, desencadena una explosión de actividad en REPA. Al principio, los residuos sólidos eran la clave, especialmente el cómo reciclar, la sustitución de materiales y el residuo de productos para reducir la dependencia de los vertederos (Boustead I., 1996).	✓ Renace el interés por el ACV, "Crisis de los residuos sólidos"		
1990	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Primer taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC), para abrir el debate sobre REPA, uno de los resultados fue la adopción del término "Life Cycle Assessment" (LCA), en español Análisis de Ciclo de Vida (ACV) Se identifican tres etapas del ACV: inventario, análisis de impacto y mejoras (SETAC, 1990). ✓ Se funda Ecobilan, en Francia. Ecobilan es una de las consultorías de ACV de la tercera ola (con la primera en los 70 y la segunda en los 80) 	✓ Procter&Gamble y WWF organizan los primeros seminarios. El interés de WF/Conservation Foundation seguido por un número creciente de ONG's		
1990	✓ En Suecia se llevan a cabo dos proyectos sobre ACV para ver las implicaciones de aplicar esta herramienta en la industria sueca	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Franklin Associates elabora el estudio de ACV de pañales desechables y no desechables. ✓ Se desarrolla el Primer Taller de la SETAC de Norteamérica para discutir la metodología y utilidad de los REPA, surge el término ACV. 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ En Japón se crea el Centro del ACV ✓ En China se adopta ISO 14040 como norma nacional
1992	✓ Se crea SPOLD (de Society for the Promotion Of LCA Development), una asociación de 20 grandes compañías en Europa, con el objetivo de promover el desarrollo y la aplicación del ACV.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Franklin Associates publicó un artículo donde se presentaba por primera vez la metodología completa de ACV (Hunt et al., 1992). ✓ El Instituto de Investigación ambiental (IERE) organiza la Conferencia Internacional sobre evaluación de CV en Washington D.C. 		✓ Japón, el Centro Eco-Vida realiza un estudio de ACV de varios productos

Año	Europa	Estados Unidos	México	Otros países
1993	✓ Deutches Institu Für Normung, DIN, public un estándar sobre ACV incorporando salud laboral, y aspectos sociales y económicos.	✓ La US EPA publica un documento guía para el inventario (Vigon et al., 1993) y crea el Programa de Compras Verdes (Environmentally Preferible Purchasing Program) ✓ SETAC publica el "Code of Practice" (Consoli et al., 1993) y "LCA Sourcebook" (Elkington et al., 1993) y fomenta numerosos talleres y reuniones que tienen como objetivo alcanzar el		✓ Se crea la Sociedad Japonesa de ACV con 250 Organizaciones participantes en Japón.
1994	✓ En Francia se publica la norma experimental FR-X30-300ACV. Definición, deontología y metodología (útil para ISO/TC-207) Díaz et al., 2004.			✓ En Canadá se publican normas ACV en el ISO/TC-207: Z760 LCA Z810 LCI: Pulp and paper Production Phase
1995	✓ Consejo Nórdico de Ministros publica Nordic Guidelines for LCA ✓ Nace el International Journal of LCA ✓ Publicación del Ecoindicador 95 desarrollado por el Programa de Investigación en Reutilización Nacional de Residuos (NOH) de la agencia holandesa de energía y medio ambiente, y asesorado por los expertos suizos del Instituto de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM).			
1996	✓ Se crea el Centre for Environmental Assessment of Product and Material System, CPM en Suecia.			
1997	✓ Publicación del la Primera Norma Internacional de la serie ISO 14040 sobre ACV, titulada Environmental Management – LCA – Principles and Framework			
1998	✓ Se publica la Guía sobre ACV: LCA- Istruzioni per L'us, en Italia. ✓ Empresas de Alemania, Italia, Suiza y Suecia (Frankl et al., 1999) pioneras de la aplicación de ACV.			
1999	✓ Publicación del Ecoindicador 1999 desarrollado por el Programa de Investigación en Reutilización Nacional de Residuos (NOH) de la agencia holandesa de energía y medio ambiente, y asesorado por los expertos suizos del Instituto de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM) ✓ Planteamiento de la OCDE de la política integrada al producto ✓ Se contempla la política integrada al producto en el Consejo Europeo reunido en Weimar			
2000	Se funda The Swiss Centre for Life Cycle Inventories en Suiza (base de datos Ecoinvent)		Surgen primeras actividades de ACV (Suppen, 2005 y 2006)	
2001	Publicación de dos grandes estudios en la Unión Europea: "Ecodesign: European State of the Art, Ecodesign- Strategies for Dissemination to SMEs"	Nace el Centro Americano para la Evaluación de ciclo de Vida (, ACLCA) para fortalecer el conocimiento de ACV. (Fava et al., 2002).		

Año	Europa	Estados Unidos	México	Otros países
2002				<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se formaron asociaciones por regiones y se desarrollaron modelos computacionales especializados y genéricos: ALCAS: Australia Life Cycle Society ISLCA: Indian Society for LCA JLCA-LCA: Society of Japan KSLCA- Korean: Society for LCA UNEP-SETAC LC- Iniciative ✓ Se lleva a cabo la Reunión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo en Johannesburgo y se reconoce al ACV como una herramienta de apoyo para fomentar el cambio en los patrones de consumo y producción (UNEP,2004) ✓ Se lanza oficialmente en Praga la Iniciativa de Ciclo de Vida de UNEP-SETAC
2003			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desarrollo de proyectos en el sector minero, eléctrico. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se realiza el 1er Foro Canadiense de ACV
2005			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se incorpora el pensamiento de ACV en la Legislación mexicana 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se crea la Red Latinoamérica de ACV, publicando El ACV ISO 14040 en Latinoamérica Se realiza la Primera Conferencia Internacional de CV Costa Rica organizado por la Red Iberoamericana de ACV.
2008			<ul style="list-style-type: none"> ✓ La Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, A.C. (FEMISCA), y el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, realizan el "1er. Seminario Latinoamericano de Análisis de Ciclo de Vida: Cuantificación y Evaluación en Productos, Procesos y Servicios para la Sustentabilidad" 	
2011			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se realiza el 1er Congreso Internacional CILCA 2011 en México. 	
2013				<ul style="list-style-type: none"> Se realiza el 2do Congreso Internacional CILCA 2013 en Argentina
2015				<ul style="list-style-type: none"> Se realiza el 3er Congreso Internacional CILCA 2015 en Perú

Fuente: Elaboración propia en base a Chacón, 2008; Guereca, 2002.

ANEXO 3

Métodos de impacto existentes, categorías de impacto, herramientas de análisis

Métodos de impacto de efecto final

ECO-INDICATOR 99: Es la actualización del anterior método Ecoindicator 95 y se basa en el modelo del daño (Goedkopp y Spriensma, 2001). Ofrece una manera de medir los efectos ambientales, y muestra el resultado final en una sola puntuación.

Los nuevos modelos de daños fueron desarrollados de acuerdo a los resultados del inventario en tres categorías de daños (efectos finales en terminología ISO):

- Daños a la Salud Humana: se expresan en DALY (Disability Adjusted Life Years- años de vida con pérdida de salud). Este método, desarrollado por Murray, es utilizado por la OMS y del Banco Mundial. Un elemento importante es una escala que clasifica los diferentes niveles de discapacidad. Los modelos de daños fueron desarrollados para efectos respiratorios y cancerígenos, los efectos del cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono y la radiación ionizante.
- Daños a la calidad del ecosistema: se expresa como el porcentaje de especies desaparecidas en una zona determinada, debido a la carga ambiental (fracción potencialmente desaparecida o PDF). La PDF se multiplica entonces por el tamaño del área y el período de tiempo para obtener el daño.
- Daños a los recursos: indica la calidad de los recursos fósiles y minerales que están todavía sin explotar., se expresan como el excedente de energía futura de los recursos minerales.
- Para los minerales se utilizan modelos geoestadísticos que se relacionan con la disponibilidad de un recurso a su concentración.
Para los recursos fósiles, la energía sobrante se basa en el uso futuro del petróleo de exquisito bituminoso y las arenas bituminosas.

EPS 2000: Por sus siglas EPS, (en español, Estrategias ambientales Prioritarias en el diseño del producto) se enfoca a estudios internos de compañías para el desarrollo y comparación entre productos (Steen, 1999).

El desarrollo del sistema EPS de arriba hacia abajo a dado lugar a una jerarquía abierta entre sus principios y reglas. Los principios generales de su desarrollo son:

- El principio de arriba hacia abajo (prioridad más alta se le da a la utilidad del sistema)

- El principio de índices (índices listos realizados representan impactos ponderados y agregados)
- El principio por defecto (un método operativo por defecto es requerido)
- El principio de incertidumbre (la incertidumbre de los datos de entrada tienen que ser estimados)
- Elección de los datos por defecto y modelos para determinar

El método evalúa cinco impactos finales: salud humana, capacidad de producción del ecosistema, las reservas de recursos naturales, la biodiversidad y valores culturales y recreativos. Este método permite la ponderación, representada por el deseo a pagar para evitar un cambio pero no la normalización.

ReCiPe: El objetivo principal del método ReCiPe, es transformar la larga lista de los resultados del inventario del ciclo de vida, en un número limitado de las puntuaciones de los indicadores.

Estos puntajes expresan la gravedad relativa de una categoría de impacto ambiental. ReCiPe determina los indicadores a dos niveles:

- 18 indicadores de efecto intermedio
- 3 indicadores de efecto final: Daños a la salud humana, Daños a los ecosistemas, Daño a la disponibilidad de recursos.

ReCiPe utiliza un mecanismo ambiental como base para el modelado. Un mecanismo ambiental puede ser visto como una serie de efectos que juntos pueden crear un cierto nivel de daño. Así también el usuario puede elegir entre la incertidumbre en los indicadores y la incertidumbre sobre la correcta interpretación de los indicadores.

IMPACT 2002+ : Es una metodología de evaluación de impacto desarrollada originalmente en el Instituto Federal Suizo de Tecnología - Lausana (EPFL), con desarrollos actuales llevadas a cabo por el mismo equipo de investigadores ahora bajo el nombre de eointesys-sistemas de ciclo de vida (Lausanne). La presente metodología propone una implementación factible de un enfoque de daños de efectos intermedios que une a todos los resultados del inventario de ciclo de vida (flujos obligatorios y otras intervenciones) a través de 14 categorías de efectos intermedios a cuatro categorías de daños.

Considera dentro de las categorías de daños: Daños a la salud humana, Calidad de los ecosistemas, Cambio Climáticos y Recursos.

Métodos de impacto de efecto intermedio

ReCiPe

USEtox: es un modelo ambiental para la caracterización de los impactos humanos y ecotóxicos en el ACV y para la evaluación comparativa y la clasificación de los productos químicos de acuerdo a sus características peligrosas inherentes.

El modelo USEtox ha sido desarrollado por un equipo de investigadores del Grupo de Trabajo sobre los Efectos Tóxicos de la Iniciativa de ciclo de vida PNUMA-SETAC.

La misión del equipo de USEtox es mejorar la comprensión y la gestión de los productos químicos en el medio ambiente mediante el desarrollo, la evaluación, la aplicación y la difusión del modelo USEtox, modelo que describe el destino, la exposición y los efectos de los productos químicos.

IPCC 2007: El método IPCC 2007, es la actualización del método IPC 2001, desarrollado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Este método enumera los factores de cambio climático del IPCC con un horizonte temporal de 20, 100 y 500 años.

Los factores de caracterización del IPCC para el calentamiento global y las emisiones al aire (excepto CH₄) son:

- Formación indirecta no incluida de óxido nitroso de las emisiones de nitrógeno.
- No representa el forzamiento radiactivo debido a las emisiones de NO_x, agua, sulfato, etc., en la parte baja de la estratosfera + troposfera superior.
- No considera el alcance de los efectos indirectos dados por el IPCC.
- No incluye la formación de CO₂ de las emisiones de CO.
- Considera en cuenta la absorción de CO₂ biogénico como impacto negativo.

CML IA: es una base de datos que contiene factores de caracterización para el ACV y es fácil de leer para el software de CMLCA.

Características:

- Contiene los factores de caracterización para todos los métodos de caracterización de referencia mencionados en el Manual de LCA, como GWP100, POCP, HTPinf y AP.
- Contiene factores adicionales de caracterización de los métodos de caracterización sin referencia, como GWP20, HTP100 y MSETP

TRACI 2: La herramienta para la Reducción y Evaluación Químicos y otros impactos ambientales (TRACI), es un programa informático autónomo desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los E.U. específicamente para este país y utiliza los parámetros de entrada compatibles con lugares de Estados Unidos. La especificidad de sitios está disponible para muchas de las categorías de impacto, pero en todos los casos existe un valor promedio cuando la ubicación es indeterminada.

TRACI facilita la caracterización de los factores de estrés ambientales que tienen efectos potenciales, incluyendo el agotamiento de la capa de ozono, el calentamiento global, la acidificación, la eutrofización, la formación de ozono troposférico (smog), ecotoxicidad, efectos relacionados con efectos en la salud humana, efectos cancerígenos en la salud humana, efectos no cancerígenos en la salud humana, agotamiento de combustibles fósiles, y efectos del uso del suelo. TRACI fue diseñado originalmente para su uso en la evaluación del ciclo de vida (ACV), pero se espera que encuentre una aplicación más amplia en el futuro. Este método presentado en SimaPro 7 está basado originalmente en TRACI v2.00 pero tiene datos expandidos derivados de la liberación de TRACI en Ecoinvent 2.0. Algunas categorías de impacto se han suprimido para evitar la doble contabilidad y algunos fueron rebautizados. Este método reemplaza el "viejo" método TRACI en SimaPro.

BEES: es el acrónimo de capacidad para la sostenibilidad ambiental y económica, una herramienta de software desarrollada por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). BEES combina una evaluación parcial del ciclo de vida y el costo del ciclo de vida para la construcción y materiales de construcción en una sola herramienta. Los resultados se presentan en términos de impacto de evaluación del ciclo de vida, costos, o una combinación de ambos. BEES se esfuerza por ayudar al arquitecto, ingeniero o comprador a elegir un producto que equilibra el rendimiento ambiental y económico, por lo que la busca soluciones rentables para la protección del ambiente.

EDIP 2003: Es una metodología de ACV danés que se presenta como una actualización de la metodología EDIP 97. La principal innovación de EDIP2003 radica en el intento consistente

para incluir la exposición en el modelado de la caracterización de las principales categorías de impacto no globales.

EDIP2003 originalmente se puede usar tanto con o sin diferenciación espacial. Sólo el factor de caracterización para efectos del sitio genéricos, los cuales no toman en cuenta la variación espacial, es implementado en SimaPro 7.

La metodología EDIP 2003 representa 19 diferentes categorías de impacto. Algunos de ellos son versiones actualizadas de EDIP 97, mientras que otros son modelados totalmente diferentes.

ECOLOGICAL SCARCITY 2006: El método "escasez ecológica" (también llamado Ecopuntos o método Umweltbelastungspunkte) es una continuación del método de Ecological scarcity 1997, siendo nombrado en la biblioteca de SimaPro como método de Ecopuntos 97 (CH). El método sigue el principio "distancia al objetivo" para la evaluación de inventarios de ciclo de vida.

El método Ecological scarcity 2006 está directamente tomado de Ecoinvent 2.0. La cantidad de sustancias presentes son compatibles con la base de datos EI 2,0 y parcialmente extendida con otras sustancias. Puede haber algunas desviaciones si el método se usa con otras bibliotecas SIMAPRO. Los datos han sido implementados por ESU-Services Ltd.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL: El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero es la herramienta internacional más utilizada por los líderes gubernamentales y empresariales para contabilizar, entender, cuantificar y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero. El GHG Protocol, tiene una asociación desde hace diez años entre el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, se trabaja con las empresas, los gobiernos y los grupos ecologistas de todo el mundo para construir una nueva generación de programas creíbles y eficaces para hacer frente al cambio climático.

Proporciona el marco contable para casi todos los estándares de emisiones de GEI y el programa en el mundo - desde la Organización Internacional de Normalización para el registro del clima, así como cientos de inventarios de GEI elaborados por empresas individuales.

El Protocolo de GEI también ofrece a los países en desarrollo una herramienta de gestión aceptada internacionalmente para ayudar a sus empresas a competir en el mercado global y sus gobiernos a tomar decisiones informadas sobre el cambio climático.

ECOLOGICAL FOOTPRINT: La huella ecológica se define como la tierra biológicamente productiva y el agua que requiere una población para producir los recursos que consume y para absorber parte de los residuos generados por el consumo de combustibles fósiles y nucleares. En el contexto del ACV, la huella ecológica de un producto se define como la suma del tiempo de ocupación de tierras integradas directas e indirectas, relacionadas al uso de energía nuclear y las emisiones de CO₂ por el uso de energía fósil.

$$EF = EF_{\text{direct}} + EF_{\text{CO}_2} + EF_{\text{nuclear}}$$

La Normalización no es una parte de este método. Con el fin de obtener una huella, cada categoría de impacto se da el factor de ponderación de 1.

Categorías de impacto

Las categorías de impactos son los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto en estudio. Estos efectos serán seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial de impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho, éstos son los objetivos y alcance del ACV.

Las categorías de impactos medioambientales se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema, el Centro de Ciencias Ambientales. Estas categorías a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: global, regional o local.

Entradas y salidas de los procesos

ENTRADAS	Consumo- recursos renovables
	Consumo- recursos no renovables
SALIDAS	Calentamiento Global
	Incidencia en la capa de ozono
	Acidificación
	Eutrofización Formación fotoquímica de ozono
	Contaminación del aire por partículas
	Carcinógenos
	Metales pesados

Fuente: Tomado de (Cardim, 2001)

El método de evaluación de impactos es el modelo desarrollado por el Centro de Ciencias Ambientales en inglés Centre of Environmental Science (CML) de Leiden (Guinée, 2002). Para la evaluación de impactos se seguirán las dos fases obligatorias según la serie 1404 0 de la norma ISO, que actualmente son también las que dispone de una mayor aceptación internacional; la clasificación y la caracterización. No se ha aplicado la normalización, ni la valoración de impactos por ser dos fases opcionales según las normas ISO referidas anteriormente y por tratarse de fases sin el suficiente consenso internacional desde el punto de vista metodológico. Las categorías de impacto consideradas para la realización de este ACV son las que también presentan mayor consenso internacional.

Categorías de impacto ambiental e indicador de flujo considerados y la unidad de medida de cada categoría.

Categoría de impacto	Acrónimo Esp/Ingl	Unidad de medida
Agotamiento de Recursos Abióticos	ARA/ ARI	Kg Sb eq.
Potencial de Calentamiento Global	PCG/ GWP	Kg CO ₂ eq.
Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico	PDOE	Kg CFC-11 eq.
Potencial de Toxicidad Humana	PITH/ ITH	Kg 1,4-DB eq.
Potencial Agua dulce- Ecotoxicidad Acuática	PADETA	Kg 1,4-DB eq.
Potencial Ecotoxicidad Marino Acuática	PETMA	Kg 1,4-DB eq.
Potencial Ecotoxicidad Terrestre	PETT/ ITI	Kg 1,4-DB eq.
Potencial Oxidación Fotoquímica	POF	Kg C2H4
Potencial de Acidificación	PA/ IA	Kg SO ₂ eq.
Potencial de Eutrofización	PE/ EI	Kg PO ₄ ⁻² eq.
Energía	E	MJ/kg
Agua	A	L/m ²

Fuente: Tomado y modificado de (De León Cifuentes, 2009)

Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA en inglés Abiotic Resources Impact – ARI)

Consumo de recursos del planeta tales como petróleo, gas natural y Uranio, etc. El crecimiento de la población, el aumento del consumo individual o la mala gestión han llevado de forma notable a constatar la evidencia del agotamiento de los recursos naturales. El indicador de esta categoría se calcula como:

$$IRA = \sum_i PRA_i \cdot m_i$$

Donde m_i es la cantidad del recurso utilizado, en kg, m^3 o MJ siendo PRA el potencial de agotamiento de recursos abióticos (Abiotic Depletion Potencial), calculando de la siguiente forma:

$$PRA_i = \frac{DR_i}{R_i^2} \cdot \frac{(R_{ref})^2}{DR_{ref}}$$

Donde R_i es la reserva del recurso i (kg), DR_i es la disminución de R_i en $Kg \cdot a^{-1}$ y R_{ref} es la reserva de antimonio como recurso de referencia y DR_{ref} en $kg \cdot a^{-1}$ es la disminución de R_{ref} .

Potencial de calentamiento global (PCG en inglés Global Warming Potencial - GWP)

Incremento de la temperatura media del planeta como resultado del efecto invernadero ocasionado por el aumento de la concentración de gases poli atómicos, como Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), vapor de agua o Óxido Nitroso (NO_2). Estos gases absorben parte de la radiación infrarroja que emite la superficie terrestre, de manera que el balance energético entre la radiación incidente del sol y la emitida por la tierra queda en desequilibrio con consecuencias sobre el clima como un probable aumento de la temperatura.

El impacto del efecto invernadero se explica utilizando el modelo del GWP de una cierta sustancia como el cociente entre el resultado de su contribución a la absorción de la radiación térmica instantánea realizada por 1 kg de gas del efecto invernadero emitido, con relación a la misma cantidad emitida de CO_2 , integradas a los largo del tiempo. Así de este modo el factor de caracterización del CO_2 como gas del efecto invernadero es igual a “1” y se expresa en la unidad de CO_2 equivalentes, según la ecuación dada por Wenzel 1998 en Cardim de Carvalho Filho, (2001)

$$GWPT_{T,i} = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt}$$

Donde a_i = Fuerza radiactiva por unidad de concentración que incrementa el gas del efecto invernadero i ;

$C_i(t)$ = Concentración del gas de efecto invernadero j después de emitido en relación con el tiempo t ;

T = El número de años a lo largo del cual hay que hacer la integración.

Potencial de destrucción del ozono estratosférico (PDOE)

En consecuencia, principalmente de la presencia de compuesto halogenados en las capas altas de la atmosfera (estratosfera). Los principales causantes de este efecto son los gases cluorofluorocarburos (CFC) que poseen átomos de cloro y flúor, además de una elevada estabilidad en la atmósfera. Esta estabilidad le permite llegar a la estratósfera donde los CFC experimentan una fotolisis, liberando átomos de cloro, que intervienen en procesos catalíticos de destrucción del ozono.

Toxicidad

En muchos procesos industriales modernos se utilizan sustancias peligrosas toxicas para las personas y/o los ecosistemas acuáticos y terrestres. La toxicidad de una sustancia dependerá de la propia sustancia, pero también de la vida de administración o exposición, la dosis, la manera como se aplica o administra, etc. Es muy difícil agrupar todos los posibles efectos tóxicos en un solo impacto. Generalmente se distinguen entre toxicidad para las personas (PTH), toxicidad para los ecosistemas acuáticos (PADETA y PETMA), como terrestre (PETT), ya que las vías de exposición entre uno y otro caso son muy diferentes. Esta categoría de impacto afecta las áreas de la salud humana, entorno natural y recursos naturales. Estas categorías son aquellas para las cuales el factor destino y especialmente el transporte a través de diferentes medios tiene más importancia. Un contaminante no permanece en el medio, compartimiento ambiental (entiéndase, aire, suelo, agua superficial, agua subterránea, mar) en que es emitido si no que puede desplazarse y alcanzar otros compartimentos que serán a su vez contaminados. Algunas determinadas sustancias pueden incluso ser más dañinas en un medio diferente al de su emisión.

Cálculo de impacto de Toxicidad para las personas (PTH en inglés Human Toxicity Impact – ITH)

$$ITH = \sum_n \sum_i PTH_{n,i} \cdot f_{i,n} \cdot m_i$$

Siendo el PTH el factor de caracterización de potencial de toxicidad humana, cuyas unidades van de depender del método utilizado para su caracterización, $f_{i,n}$ la fracción de la sustancia i que se transporta desde el intervalo al comportamiento ambiental, adimensional y m la masa emitida de cada contaminante.

Se calcula de la misma forma la ecotoxicidad acuática PETMA (en inglés Aquatic Toxicity Impact – ATI)

$$ITA = \sum_n \sum_i PTA_{n,i} \cdot f_{i,n} \cdot m_i$$

Y la ecotoxicidad terrestre PETT en inglés Terrestrial Toxicity Impact – ITI

$$ITI = \sum_n \sum_i PTI_{n,i} \cdot f_{i,n} \cdot m_i$$

Potencial de oxidación fotoquímica (POF)

Bajo la influencia de la radiación solar, los Óxidos de Nitrógeno (NO_x), reaccionan con los compuesto orgánicos volátiles (VOCS) para producir ozono troposférico, este fenómeno tiene lugar principalmente durante los meses de verano. La presencia de monóxido de carbono puede igualmente contribuir a la formación de ozono.

Estos oxidantes fotoquímicos pueden resultar perjudiciales para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura, para el cálculo del indicador de formación de foto oxidantes, PO, se utiliza como factor de caracterización, POCP, Photochemical Ozone Creation Potentials, (Guinée, 2002). Se mide respecto al efecto producido por 1 kg de etileno. PCOP se define como la relación entre el cambio en la concentración de ozono debido a un cambio en la emisión de un VOC y el cambio en la concentración de ozono debido a un cambio en la emisión de etileno.

Los NO_x actúan como catalizadores en esta reacción química, no son por tanto consumidos, pero en función de la concentración de NO_x se verá afectada la producción de foto oxidante. Diferentes factores como concentración de industrias, infraestructura de transporte, etc. Influirán en la concentración de NO_x.

Potencial de acidificación (PA en inglés, Acidification Impact - IA)

La acidificación consiste en la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y ácido clorhídrico, etc. En la atmósfera, en el medio edáfico y en el medio hídrico, donde puede variar la acidez del medio, cosa que afectará a la flora y fauna que habita en él. Produce deforestación y también puede afectar a los materiales de la construcción (por la llamada lluvia ácida) además la acidificación tiene consecuencias graves sobre el

funcionamiento de los ecosistemas, como la pérdida de nutrientes del suelo o la movilización de sustancias tóxicas. Afecta por lo tanto a las cuatro grandes áreas de protección: salud humana, entorno natural, entorno modificado por el ser humano y recursos naturales, las unidades de acidificación se miden en kilogramos equivalentes de SO₂.

El indicador para la categoría de acidificación es el impacto de acidificación, se expresa como:

$$IA = \sum_i PA_i \cdot m_i$$

Donde m_i es la masa en kg de la sustancia i y PA es potencial de acidificación. El resultado se expresa en la unidad de kg de SO₂ equivalente. Este potencial para una determinada sustancia i se puede calcular como el potencial de iones H⁺ equivalentes que puede emitir dicha sustancia i . las diferentes emisiones podrán ser sumadas basándose en su potencial de formar iones H⁺, por lo que:

$$PA_i = \frac{n_{H^+} \cdot M_{H^+}}{M_i}$$

Donde n_{H^+} (mol·kg⁻¹) representa el número de iones H⁺ que pueden ser potencialmente producidos por un kg de sustancia i y M_{H^+} (kg·mol⁻¹) el peso equivalente de un mol H⁺ y M_i el peso equivalente de la sustancia i .

Potencial de eutrofización (PE en inglés Eutrophication - EI)

La eutrofización se produce con la excesiva concentración de nutrientes de nitrógeno y fósforo en el medio acuoso (lagos, ríos, etc.) que favorecen un rápido crecimiento de algas. Estas últimas forman una barrera que impide que la luz llegue a los organismos que viven en zonas más profundas y su elevada actividad metabólica agota los nutrientes del medio. Un aumento de las algas en los ecosistemas acuáticos producirá una disminución del contenido de oxígeno debido a que la descomposición de dicha biomasa consumirá oxígeno medido como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Este consumo de oxígeno puede conducir a alcanzar unas condiciones anaerobias que provocan la descomposición causada por las bacterias anaeróbicas que libran CH₄, H₂S y NH₃. En último término desaparece cualquier tipo de vida aeróbica, el proceso de eutrofización aumenta en la época de verano. Esta categoría de impacto afecta a las áreas de la salud humana, ambiente natural y al ambiente modificado por el hombre.

$$IE = \sum_i PE_i \cdot m_i$$

Donde m_i es la masa en kg de la sustancia i emitida al aire, agua o suelo. El total se expresará como kg de fosfato equivalente. Para calcular el PE se toma como referencia la composición del alga "Redfield" $C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P$ asumiéndose como la composición media de los organismos acuáticos (Guineé et al., 2001). El PE se calcula como

$$PE_i = \frac{\frac{v_i}{M_i} \cdot \frac{N_{O_2}}{A_e}}{\frac{1}{M_{PO_4^{3-}}} \cdot \frac{N_{O_2}}{A_p}}$$

Donde v_i es el número de moles de N o P en una molécula del compuesto i , M es la masa molecular ($kg \text{ mol}^{-1}$), N_{O_2} es el número de moles de O_2 consumidos durante la degradación del alga, A_e es número de moles N o P contenidos en una molécula de alga.

Considerando que el oxígeno requerido para la degradación del alga se medirá en forma de DQO (demanda química de oxígeno), asumiéndose que un mol de biomasa precisará de 138 moles de O_2 para su degradación, la eutrofización se calculará como:

$$PE_i = \frac{\frac{1}{M_{O_2}}}{\frac{1}{M_{PO_4^{3-}}} \cdot \frac{N_{O_2}}{A_p}}$$

Software desarrollado para ACV

PROGRAMA	DESARROLLADOR	INFORMACIÓN	COMENTARIOS
Boustead	Boustead Consulting (Reino Unido)	www.bousteadconsulting.co.uk	Herramienta muy completa indicada para realizar estudios de ACV dentro de la industria química, plásticos, acero, etc.
Eco-it	Pré Consultants (Países Bajos)	www.pra.nl	Especialmente indicado para diseñadores de productos y envases. Utiliza el Ecoindicador 99. Su manejo es sencillo
Ecopro	Sinum AG - EcoPerformance Systems (Suiza)	www.sinum.com	Permite la realización sencilla de ciclos de vida del producto. Utiliza la base de datos BUWAL
EcSCAN	TNO Industrial Technology (Países Bajos)	www.ind.tno.nl	Puede utilizarse por encargados y técnicos responsables de implantación del ecodiseño de productos. Dispone de varias bases de datos y su manejo es sencillo
PROGRAMA	DESARROLLADOR	INFORMACIÓN	COMENTARIOS
Euklid	Fraunhofer-Institut (Alemania)	www.ivv.fhg.de	Programa orientado a estudios de ACV de productos industriales
KCL Eco	Finnish Pulp and Paper Research Institute (Finlandia)	www.kcl.fi/eco	Presenta una interfaz gráfica muy completa. Posee los indicadores Ecoindicador 95 y DAIA 98 y destaca por sus datos de la industria papelera
LCAit	Chalmers Industriteknik (Suecia)	www.ekologik.ctt.chalmers.se	Su aplicación principal es en el sector de envases y productos de papel
Miet	Universidad de Leiden (Países Bajos)	www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software	Trabaja con MS Excel y se basa en datos ambientales de Estados Unidos. Gratuito
GaBi	Universidad de Stuttgart (Alemania)	www.gabi-software.com	Además de las posibilidades convencionales de ACV, este programa permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos
Pems	Pira Internacional (Reino Unido)	www.piranet.com/pack/ica_software.htm	Puede ser utilizado tanto por principiantes como por expertos en la materia. Su interfaz gráfica es flexible
SimaPro	Pré Consultants (Países Bajos)	www.pra.nl	Permite realizar ACVs completos con múltiples métodos de evaluación de impactos. Presenta completas y variadas bases de datos. Adecuada para departamentos de diseño o I+D
Team	Ecobilan (Francia)	www.ecobilan.com	Herramienta muy completa, flexible y potente, aunque algo más compleja de utilizar. Permite introducir información relativa a costes
Wisard	Pricewaterhouse Coopers (Francia)	www.pwcglobal.com	Indicado para análisis del impacto económico y medioambiental de residuos sólidos municipales
AIST-LCA	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Japón)	http://www.aist-riis.jp/main/	Herramienta empleada en el contexto japonés, con una base de datos propia de más de 400 productos.
eVerDEE	Agencia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (Italia)	www.acosmes.net	Herramienta web de fácil manejo, indicada para pequeña-mediana empresa.
Umberto	Ifau-Institut (Alemania)	www.umberto.de	Ofrece datos de gran calidad y resultados transparentes. Las librerías de datos son completas y flexibles. Indicado para realizar ecobalances empresariales

Fuente: Tomado de (Rivela, 2012)

Bases de datos incluidas en SimaPro

- Ecoinvent v.2
- US LCI
- ELCD
- US Input Output
- EU and Danish Input Output
- Dutch Input Output
- LCA Food
- Industry data v.2

ANEXO 4
Cuestionario

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL-IPN
OAXACA

ANALISIS DE CICLO DE VIDA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS FORESTALES
MADERABLES

La información recaba en el presente documento forma parte de un trabajo de investigación documental y explicativa que será utilizado con fines académicos e investigación. Este es un proyecto que pretende llevar a cabo una evaluación de ciclo de vida de productos forestales maderables donde se describirán las influencias en el medio ambiente. El objetivo es generar un inventario de ciclo de vida para el desarrollo medioambiental de los materiales de muebles y para la construcción. *Esto permitirá realizar prácticas de comparación, como comparar los beneficios medioambientales de la madera contra otros materiales como acero, aluminio, vidrio, etc.*

El presente documento está diseñado específicamente para aserraderos de madera de coníferas en Oaxaca. Las preguntas se centraron en la producción mensual, el consumo y generación de energía, entradas de materiales, y emisiones ambientales. Se sabe que no se puede tener toda la información solicitada, pero los datos que sean capaces de proporcionar serán apreciados. Nuestra intención es mantener la confidencialidad de la empresa que suministra los datos para esta encuesta.

Nombre de la empresa: _____
Dirección de la empresa _____
Código Postal: _____
Persona de contacto: _____
Posición: _____
Teléfono: _____ Fax: _____

Preguntas a:

Patricia Regino Maldonado

*Universidad Politécnica de Cataluña

Departamento de Ingeniería de Proyectos-Doctorado en Proyectos de Innovación Tecnológica

Av. Diagonal No. 264, Piso 10. Col. Pedralbes, Barcelona, España

Tel: 0034-93 40 166 46

*Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN Oaxaca

Administración de Recursos Naturales

Calle Hornos No.23, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México

Tel: 951-51 704 00- 51 711 99

patricia.regino@upc.edu

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS FORESTALES MADERABLES

El presente documento se encuentra dividido en seis partes principales (información general del aserradero, patio de madera en rollo, aserrío, calderas, secado y fábrica (panel finger joint y muebles). Considerando a estas partes como subprocesos del proceso general.

1. INFORMACION GENERAL –ASERRADERO

Objetivo:

Generar un inventario de datos que contenga información para cuantificar los impactos ambientales de la madera aserrada y de paneles para muebles, para tener un punto de referencia e identificar el subproceso menos eficiente ambientalmente y así optimizar las prácticas de producción que mejorarán esta eficiencia ambiental.

1. ¿Qué tipo de aserradero es?

2. Indique el mes de inicio y mes final que se está reportando _____

3. ¿Qué equipos existen en la planta? y ¿cuántos?

- _____ Protección de trozo (__ estanque __ roseado de agua)
- _____ Montacargas
- _____ Transportador de carga
- _____ Clasificador de trozo
- _____ Descortezadora
- _____ Torre de sierra de corte
- _____ Sierras
- _____ Canteadora
- _____ Retestadora
- _____ Estufa
 - _____ Estufa convencional
 - _____ Estufa de alta temperatura
 - _____ Secador de deshumidificación
- _____ Cepilladora
- _____ Calderas para proceso de calor
- _____ Planta de cogeneración
- _____ Equipos de control de emisiones _____ Otro equipo complementario

4. ¿Cuál es la distancia entre las áreas de proceso?

Desde	a	Distancia (mtrs)
Patio de madera en rollo	Cargador frontal	
Patio de madera verde	Estufa de secado	
Estufa de secado	Fábrica	
Fábrica	Almacén de tablero o producto terminado	

5. Representar en un esquema básico el “lay-out” de la planta

1. PATIO DE MADERA EN ROLLO

Objetivo:

Identificar cantidad de entradas de materias primas (madera en rollo, uso de transporte, agua, etc.) y salidas desde este subproceso (madera en rollo, impactos ambientales en términos de uso de energía, emisiones al aire por uso de combustibles para transporte, residuos sólidos, etc.)

ENTRADAS AL PATIO DE MADERA EN ROLLO

1. ¿Cuál es el método usado para cuantificar las entradas al patio de madera en rollo?

2. ¿Qué especies de trozo entraron al patio de madera en rollo? ¿Cuáles fueron los promedios de las dimensiones del trozo?

Mes	Especies	Total de la madera en rollo (pzas)	Volumen o peso (m ³ ó Ft)	Promedio de largo de trozo	Promedio de diámetro de trozo	Clasificación de calidad

*información requerida por mes

3. ¿Cómo llega la madera en rollo a la planta?

- a) Carro _____%
- b) Otro _____%

4. ¿Sabe cómo la madera ha sido aprovechada (recolectada)?

- a) Manual
- b) Mecanizada
- c) Otra (describir) _____

5. ¿Cuáles fueron las entradas de materiales no energéticos al patio de madera en rollo?

Entradas de material	Cantidad	unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

6. ¿Cuáles fueron las entradas de energía al patio de madera en rollo?

Entradas de energía	Cantidad	Unidades

7. ¿Cuánta agua fue consumida en el patio de madera en rollo?

Protección de trozo		
Consumo de agua	Cantidad	Unidades

SALIDAS DEL PATIO DE MADERA EN ROLLO

1. Emisiones al aire del patio de madera en rollo

Emisiones al aire	Cantidad	Unidades	Describir procedimiento de muestreo

*Listar los componentes incluidos en estas categorías

2. PROCESO DE ASERRÍO (MADERA VERDE)

Objetivo:

Identificar cantidad de entradas de materias primas (madera en rollo, uso de energía para equipos de trabajo, agua, lubricantes, etc.) y salidas desde este subproceso (tabla en diversos tamaños, productos secundarios, impactos ambientales en términos de uso de energía, residuos sólidos, etc.)

ENTRADAS AL PROCESO DE ASERRÍO

1. ¿Qué especies se procesaron? ¿Cuáles fueron los promedios de las dimensiones del trozo? Y bajo ¿qué clasificación de calidad fue procesado el trozo?

Mes	Especies	Cantidad de madera en rollo (pzas)	Volumen o peso	Promedio de largo de trozo	Promedio de diámetro de trozo	Clasificación de calidad

*Información requerida por mes

2. ¿Cómo fue transportada la madera en rollo al proceso de aserrío?
-

3. ¿Qué tipo de combustible fue usado para realizar este transporte?

Entradas de material	Cantidad (litros)(kg)	Frecuencia de cambio de combustible	Horas usadas a día

*Información requerida por mes

4. ¿Cuáles son los materiales a parte del trozo que entran al proceso de aserrío?

Entradas de material	Cantidad	Unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

*Información solicitada por mes

5. ¿Cuáles fueron las entradas de energía para el proceso se aserrío?

Entradas de energía	Cantidad	Unidades

*Información por mes

6. ¿Cuánta agua fue consumida en el proceso de aserrío?

Consumo de agua	Cantidad	Unidades

SALIDAS DEL PROCESO DE ASERRÍO

1. ¿Cuál fue el nivel de producción mensual para el año de referencia elegido?

Mes	Tamaño de tabla (Largo, ancho y espesor)	Clase	Pt/mes ó m³/mes

*Información por mes; incluir polín, vigueta y tableta

2. ¿Cuál fue la producción de productos secundarios que dejó el proceso de aserrío el último año?

Mes	Corteza (ton, kg)	Aserrín verde (ton, kg)	Costera (ton, kg)	Bastón para escoba (pzas)	Bastón para apilar (pzas)	Leña (ton, kg)	Otros

*Verificar los datos con ventas en caso de que el producto secundario haya sido vendido

3. ¿Qué pasó con los productos secundarios que salieron del proceso de aserrío?

Producto Secundario	Vendido	Enviado a basurero	Almacenado	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega	Total %

*Información por mes

4. Emisiones al aire del proceso de aserrío

Emisiones al aire	Cantidad	Unidades	Describir procedimiento de muestreo

*Listar los componentes incluidos en estas categorías

5. ¿Cuántos efluentes se drenaron al agua desde el proceso de aserrío?

Efluentes al agua	cantidad	unidades	Describir el proceso de muestreo

*Listar los componentes incluidos en estas categorías

6. ¿Cuáles fueron los desechos sólidos que salieron del proceso de aserrío?

Desperdicios sólidos	Cantidad	Unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

*Solicitar información por mes

3. CALDERA

Objetivo:

Identificar cantidad de entradas a las calderas (madera verde, biomasa como combustible para generación de vapor, uso de energía para equipos de trabajo, agua, químicos para tratamiento de agua, etc.) y salidas desde este subproceso (tabla en diversos tamaños seca, emisiones al aire, residuos sólidos, etc.)

1. Indicar la capacidad de cada caldera

Caldera	Tamaño (MJ/hr—de vapor)	Tipo de combustible	Capacidad de combustible

2. Indicar la capacidad de instalación de cogeneración:

Electricidad (Kw o Mw)	Proceso de Temperatura (MJ/hr)	Tipo de combustible	% usado o vendido fuera del lugar

ENTRADAS

1. ¿Cuáles fueron las entradas de material a la caldera?

Entradas de material	Cantidad

*Solicitar información por mes

SALIDAS DE CALDERA

1. ¿Cuáles fueron las salidas de la caldera?

Salidas de material	Cantidad	Unidades
Otros		

2. ¿Cuáles fueron las emisiones al aire generadas en la caldera?

Emisiones al aire	Cantidad	Unidades	Describir el proceso de muestreo

3. ¿Cuáles fueron los efluentes al agua de la caldera?

Emisiones al aire	Cantidad	Unidades	Describir el proceso de muestreo

4. ¿Cuáles fueron los desechos sólidos (salidas) desde la caldera?

Desperdicios sólidos	Cantidad	Unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

4. PROCESO DE ESTUFADO

Objetivo: Identificar cantidad de entradas a las estufas (madera verde, uso de energía para generación de vapor, agua, etc.) y salidas desde este subproceso (tabla en diversos tamaños seca, emisiones al aire, residuos sólidos, etc.)

ENTRADAS AL PROCESO DE ESTUFADO

1. ¿Cuál fue el promedio mensual de entradas de madera verde al proceso de estufado?

Mes	Tamaño de tabla (Largo, ancho y espesor)	Clase	Pt/mes M ³ /mes

2. ¿Cómo fue transportada la madera verde al proceso de estufado?

3. ¿Qué tipo de combustible fue usado para realizar este transporte?

Entradas de material	Cantidad (litros)(kg)	Frecuencia de cambio de combustible	Horas usadas a día

4. ¿Cuáles fueron las entradas no energéticas al proceso de estufado?

Entradas de material (no energía)	Cantidad	Unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

*Solicitar información por mes

5. ¿Cuáles fueron las entradas de energía al proceso de estufado?

Entradas de energía	Cantidad	Unidades

*Solicitar información por mes

6. ¿Cuánta agua fue consumida en el proceso de estufado?

Consumo de agua	Cantidad	Unidades

SALIDAS DE SECADO

1. Salidas de material del proceso de estufado

Salidas s de material (no energía)	Cantidad	Unidades	Tipo de transporte	Carga promedio	Distancia promedio de entrega

*Información por mes

2. ¿Cuáles fueron las emisiones al aire del proceso de estufado?

Emisiones al aire	Cantidad	Unidades	Describir el proceso de muestreo

3. ¿Cuáles fueron los efluentes al agua desde el proceso de estufado?

Emisiones al agua	Cantidad	Unidades	Describir el proceso de muestreo

4. ¿Cuáles fueron los desechos sólidos desde el proceso de estufado?

Desechos al agua	Cantidad	Unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

5. PROCESO DE PANEL FINGER JOINT

Objetivo:

Identificar cantidad de entradas de materias primas (madera estufada, uso de energía para equipos de trabajo, químicos como antimanchas o plaga, adhesivos, transporte, etc.) y salidas desde este subproceso (paneles finger joint, productos secundarios, impactos ambientales en términos de uso de energía, residuos sólidos, etc.)

ENTRADAS AL PROCESO DE TABLERO FINGER JOINT

1. ¿Cuál es el método usado para cuantificar las entradas a la fábrica?

2. ¿Qué especies se procesaron? ¿Cuáles fueron los promedios de las dimensiones de la madera estufada?

Mes	Especie	Largo de tabla	Ancho y espesor	Volumen o peso	Clasificación de calidad según el aserradero

*información requerida por mes

3. ¿Cuánta de ésta madera estufada (reportada en el año designado) se destinó para tableros finger joint por mes?

4. ¿Cómo se transporta la madera estufada a la fábrica?

- a) Carro _____%
- b) Montacargas _____%
- c) Otro _____%

5. ¿Qué tipo de combustible fue usado para realizar este transporte?

Entradas de material	Cantidad (litros)(kg)	Frecuencia de cambio de combustible	Horas usadas a día
Gasolina			
Grasa			
Lubricante hidráulico			
Anticongelante			
Diesel			

6. ¿Cuáles fueron las entradas de materiales no energéticos a la fábrica para el proceso de paneles finger joint?

Entradas de material	Cantidad	unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

7. ¿Cuáles fueron las entradas de energía para el proceso de paneles finger joint?

Entradas de energía	Cantidad	Unidades

8. ¿Cuánta agua fue consumida en el proceso de paneles finger joint?

Protección de trozo

Consumo de agua	Cantidad	Unidades

SALIDAS DE FABRICA- PROCESO DE FINGER JOINT

1. ¿Cuál es la producción mensual de tableros finger joint?

Mes	Dimensiones del tablero	Volumen o peso	Disposición

2. Emisiones al aire

Emisiones al aire	Cantidad	Unidades	Describir procedimiento de muestreo

*Listar los componentes incluidos en estas categorías

9. PROCESO DE MUEBLE ESCOLAR

Objetivo:

Identificar cantidad de entradas de materias primas (madera estufada, tablero finger joint, uso de energía para equipos de trabajo, adhesivos, transporte, etc.) y salidas desde este subproceso (tipo de mueble, impactos ambientales en términos de uso de energía, residuos sólidos, etc.)

ENTRADAS AL PROCESO DE MUEBLE DE ENSAMBLE Y MODULAR

1. ¿Cuál es el método usado para cuantificar las entradas a la fábrica?

2. ¿Qué especies se procesaron? ¿Cuáles fueron los promedios de las dimensiones de la madera estufada?

Mes	Especie	Largo de tabla	Ancho y espesor	Volumen o peso	Clasificación de calidad según el aserradero

*información requerida por mes

3. ¿Cuánta es destinada a la producción de muebles al mes?

4. ¿Cuántos m³ de tablero son destinados para la producción de muebles al mes?

5. ¿Cómo se transporta la madera hacia la fábrica?

- d) Carro _____%
- e) Montacargas _____%
- f) Otro _____%

6. ¿Qué tipo de combustible fue usado para realizar este transporte?

Entradas de material	Cantidad (litros)(kg)	Frecuencia de cambio de combustible	Horas usadas a día

7. ¿Cuáles fueron las entradas de materiales no energéticos a la fábrica para el proceso de muebles?

Entradas de material	Cantidad	unidades	Tipo de transporte	Distancia promedio de entrega

8. ¿Cuáles fueron las entradas de energía para el proceso de muebles finales?

Entradas de energía	Cantidad	Unidades

9. ¿Cuánta agua fue consumida en el proceso de muebles finales?

Consumo de agua	Cantidad	Unidades

SALIDAS DE FABRICA- PROCESO DE MUEBLES FINALES

5. ¿Cuál es la producción mensual de muebles modulares y de ensamble?

Mes	Dimensiones del tablero	Volumen o peso	Disposición

6. Emisiones al aire

Emisiones al aire	Cantidad	Unidades	Describir procedimiento de muestreo

*Listar los componentes incluidos en estas categorías

ANEXO 5

Modelo de ficha de inventario

FICHA DE INVENTARIO DE DATOS			
PRODUCTO/PROCESO: ASERRIO DE TABLAS			
UNIDAD FUNCIONAL ¹ 1 m ³	FUENTE: DIRECTAMENTE DE LA EMPRESA		
TECNOLOGIA: MODERNA	EDAD DE LOS DATOS: ENERO 2010 - DICIEMBRE 2011		
PRODUCTO			
TABLA ASERRADA VERDE (HÚMEDA) DE DIMENSIONES DIFERENTES, CLASIFICADA SEGÚN CALIDADES: CLASE, SEGUNDA, TERCERA, CUARTA, CUARTA PICADA Y QUINTA.			
DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACIÓN			
<p>EL TROZO SE COLOCA EN EL TRANSFER DE ENTRADA, SE CLASIFICAN: TROZOS LARGOS "PRIMARIO" DE 8,6 PIES (2,62M) Y TROZOS CORTOS O SECUNDARIO DE 4,1 PIES (1,25M), EL TROZO PASA POR LA DESCORTEZADORA-ASERRIO-CANTEADORA Y RETESTADORA. LA TABLA ASERRADA ES CLASIFICADA CONFORME CALIDAD: CLASE, 2a, 3a, 4a, 4a PICADA y 5a. SE COLOCA EN A RILLAS EN EL PATIO DE TABLA.</p>	TROZO	→	TROZO EN TRANSFER
		→	PROCESO DE DESCORTEZADORA
	ELECTRICIDAD	→	PROCESO DE ASERRIO
	LUBRICANTES	→	PROCESO DE DESORILLADO
		→	PROCESO DE RETESTADO
		→	COLOCACIÓN EN PATIO DE MADERA
			TABLA ASERRADA VERDE
			CORTEZA TIRA DESPUNTE ASERRIN
ENTRADAS AL SISTEMA			
BALANCE DE MATERIALES			
MATERIALES	UNIDAD/PZS	CANTIDAD	
TROZO	kg/m ³	992,77	
LUBRICANTES	kg/m ³	9,46E-02	
GASOLINA	L/m ³	1,87E-02	
DIESEL	L/m ³	6,25E-01	
BALANCE DE ENERGÍA			
CONSUMO ELÉCTRICO	KWh/m ³	32,11	
SALIDAS DEL SISTEMA			
COSTERA / CORTEZA	kg/m ³	79,40	
TIRA ³	kg/m ³	159,00	
DESPUNTE ⁴	kg/m ³	39,70	
ASERRIN ⁵	kg/m ³	198,60	
EMISIONES AL AIRE			
ACETALDEHIDO	kg	0,0387	
METANOL	kg	0,0010	
VOC	Kg	0,0387	
EMISIONES AL AGUA			
RESIDUOS SÓLIDOS			
RESIDUOS DE MADERA	Kg	0,00022	
TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA			
OBSERVACIONES			
¹ SE CONSIDERA 1 m ³ DE PRODUCTO TERMINADO, EQUIVALENTE AL CALCULO DE MASA CON RESPECTO A LA DENSIDAD DE LAS MADERAS UTILIZADAS 516 Kg/m ³ base seca			
³ COPRODUCTO- PALO DE ESCOBA			
⁴ COPRODUCTO - LEÑA			
⁵ COPRODUCTO-COMBUSTIBLE PARA CALDERA			

ANEXO 6

Resumen de entradas / salidas en la UCFAS

MEDIDOR 5A8P55										MEDIDOR 2X6W86										CONSUMO TOTAL			
										20													
										10.317,00													
										80													
ASIGNACION	FACT1	24%			60%			10%			5%			1%			FACT2	90%		10%			
	KWH	suma	ADMINISTRACION	MJ	ASERRADERO	ASERRADERO	MJ	PLANTA DE SECADO	MJ	TALLER DE CUADRO PARA BARROTE	MJ	TALLER MECANICO	MJ	KWH	suma	FABRICA	PLANTA DE SECADO	MJ	KWH				
ENERO	2010	6.432	10.317,00	1.544	5.557	3.859	3.859	13.893	4.528	16.302	322	1.158	64,32	232	38.850	38.850	34.965	3.885	125.874	125.874	45.282		
FEBRERO		7.392		1.774	6.387	4.435	4.435	15.967	5.363	19.308	370	1.331	73,92	266	28.700	28.700	25.830	2.870	92.988	92.988	36.092		
MARZO		23.088		5.541	19.948	13.853	13.853	49.870	4.618	16.623	1.154	4.156	230,88	831	37.100	37.100	33.390	3.710	120.204	120.204	60.188		
ABRIL		20.736		4.977	17.916	12.442	12.442	44.790	4.147	14.930	1.037	3.732	207,36	746	40.600	40.600	36.540	4.060	131.544	131.544	61.336		
MAYO		25.344		6.083	21.897	15.206	15.206	54.743	5.069	18.248	1.267	4.562	253,44	912	40.600	40.600	36.540	4.060	131.544	131.544	65.944		
JUNIO		14.976		3.594	12.939	8.986	8.986	29.955	3.197	10.783	749	2.696	149,76	539	37.450	37.450	33.705	3.745	121.338	121.338	52.426		
JULIO		15.984		3.836	13.810	9.590	9.590	34.525	3.197	11.508	799	2.877	159,84	575	38.150	38.150	34.335	3.815	123.606	123.606	54.134		
AGOSTO		30.816		7.396	26.625	18.490	18.490	66.563	6.163	22.188	1.541	5.547	308,16	1.109	44.800	44.800	40.320	4.480	145.152	145.152	75.616		
SEPTIEMBRE		20.736		4.977	17.916	12.442	12.442	44.790	4.147	14.930	1.037	3.732	207,36	746	31.500	31.500	28.350	3.150	102.060	102.060	52.236		
OCTUBRE		17.136		4.113	14.805	10.282	10.282	37.014	3.427	12.338	857	3.084	171,36	617	38.500	38.500	34.650	3.850	124.740	124.740	55.636		
NOVIEMBRE		11.040		2.650	9.539	6.624	6.624	23.846	2.208	7.949	552	1.987	110,40	397	33.950	33.950	30.555	3.395	109.998	109.998	44.990		
DICIEMBRE		10.032		2.408	8.668	6.019	6.019	21.669	2.006	7.223	502	1.806	100,32	361	22.400	22.400	20.160	2.240	72.576	72.576	32.432		
ENERO	2011	7.536		1.809	8.543	4.522	4.522	16.278	1.507	5.426	377	1.356	75,36	271	15.050	15.050	13.545	1.505	48.762	48.762	22.586		
FEBRERO		9.888		2.373	8.543	5.933	5.933	21.358	1.978	7.119	494	1.780	98,88	356	26.950	26.950	24.255	2.695	87.318	87.318	36.838		
MARZO		13.248		3.180	11.446	7.949	7.949	28.616	2.650	9.539	662	2.385	132,48	477	33.950	33.950	30.555	3.395	109.998	109.998	47.198		
ABRIL		8.876		2.130	7.669	5.326	5.326	19.172	1.775	6.391	444	1.598	88,76	320	26.250	26.250	23.625	2.625	85.050	85.050	35.126		
MAYO		24.672		5.921	21.317	14.803	14.803	53.291	4.934	17.764	1.234	4.441	246,72	888	33.250	33.250	29.925	3.325	107.730	107.730	57.922		
JUNIO		14.976		3.594	12.939	8.986	8.986	32.348	2.995	10.783	749	2.696	149,76	539	37.450	37.450	33.705	3.745	121.338	121.338	52.426		
JULIO		15.984		3.836	13.810	9.590	9.590	34.525	3.197	11.508	799	2.877	159,84	575	38.150	38.150	34.335	3.815	123.606	123.606	54.134		
AGOSTO		30.816		7.396	26.625	18.490	18.490	66.563	6.163	22.188	1.541	5.547	308,16	1.109	44.800	44.800	40.320	4.480	145.152	145.152	75.616		
SEPTIEMBRE		20.736		4.977	17.916	12.442	12.442	44.790	4.147	14.930	1.037	3.732	207,36	746	31.500	31.500	28.350	3.150	102.060	102.060	52.236		
OCTUBRE		17.136		4.113	14.805	10.282	10.282	37.014	3.427	12.338	857	3.084	171,36	617	38.500	38.500	34.650	3.850	124.740	124.740	55.636		
NOVIEMBRE		11.040		2.650	9.539	6.624	6.624	23.846	2.208	7.949	552	1.987	110,40	397	33.950	33.950	30.555	3.395	109.998	109.998	44.990		
DICIEMBRE		10.032		2.408	8.668	6.019	6.019	21.669	2.006	7.223	502	1.806	100,32	361	22.400	22.400	20.160	2.240	72.576	72.576	32.432		
CONSUMO TOTAL		388.652,00		93.276,48	335.795,16	233.191,20	233.191,20	839.487,90	84.857,20	305.485,77	19.432,60	69.957,33	3.886,52	13.991,47	814.800,00		733.320,00	81.480,00	2.639.950,68	1.203.452,00			
						233.191,20		923.436,69				1.295,51								63	100		

ENTRADAS DE COMBUSTIBLE PARA EL TRANSPORTE Y ENERGIA

MATERIALES	UNIDAD	PATIO DE MADERA EN ROLLO	ASERRIÑO	SECADO	TABLERO	TOTAL
ELECTRICIDAD	KWh/m3	-	41,58	31,81	43,35	116,74
USE DE COMBUSTIBLES						
ASERRIN	Kg/m3	-	-	202,52	-	202,52
DIESEL	L/m3	8,50E-06	-	1,28E-05	3,40E-05	5,53E-05

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO	ENERGIA REQUERIDA
ASERRIN	3,89 KWh/kg	787,80 KWh/m ³
DIESEL	12,42 KWh/kg	6,87E-04 KWh/m ³

ENERGIA REQUERIDA	ASERRIN		DIESEL	
	PODER CALORIFICO	ENERGIA REQUERIDA	PODER CALORIFICO	ENERGIA REQUERIDA
ASERRIÑO	14,00	-	44,72	-
SECADO	MJ/kg	2,835,27	MJ/kg	5,72E-04
TABLERO FINGER JOINT		-		1,52E-03

COMBUSTIBLES	UNIDAD	PATIO DE MADERA EN ROLLO	ASERRIÑO	SECADO	TABLERO	TOTAL
ASERRIN	KWh/m3	-	-	787,80	-	787,80
DIESEL	KWh/m3	1,06E-04	-	1,59E-04	4,22E-04	6,87E-04

TIPO DE COMBUSTIBLE	VALOR	ENERGIA
ASERRIN (Kg)	203	788,47 Kwh/m ³

	Peso del producto	Madera maciza	Tablero	Peso	Peso	Peso total del producto	
	kg	cm3	cm3	Madera maciza	Tablero	total	volumen total
	total	volumen	volumen	m=dxv	m=dxv	kg	producto
LOCKER	614	28,87	0,009	0,047	4,862	24,098	28,960
SILLA PREESCOLAR	1.859	2,91	0,006		2,923		2,923
ESCRITORIO	1.600	27,58	0,038	0,016	19,453	8,235	27,689
ARCHIVERO	56	37,43	0,029	0,044	14,727	22,844	37,570
SILLA PRIMARIA	8.610	14,55	0,028		14,603		14,603
MESA PREESCOLAR	718	7,23	0,009	0,005	4,551	2,706	7,257
BANCA	336	12,94	0,025		12,993		12,993
MESA PRIMARIA	2.649	8,31	0,009	0,007	4,757	3,588	8,345

	volumen		area		GR	GR	kg	kg	
	cm3	cm2	m2		SAYER BASIC	URESAYER SEMIMATE	SAYER BASIC	URESAYER SEMIMATE	polyestrech
SILLA PRIMARIA	14,60	0,0283	39.521		256,89	434,73	0,257	0,435	0,000038
LOCKER	28,96	0,0562	62.249		6,22490	404,62	0,405	0,685	0,000149
SILLA PREESCOLAR	2,92	0,0057	6.992		0,69920	45,45	0,045	0,077	0,000000
ESCRITORIO	27,69	0,0537	58.862		5,88620	382,60	0,383	0,647	0,000126
ARCHIVERO	37,57	0,0728	102.159		10,21590	664,03	0,664	1,124	0,000659
MESA PREESCOLAR	7,26	0,0141	25.179		2,51790	163,66	0,164	0,277	0,000259
BANCA	12,99	0,0252	28.436		2,84360	184,83	0,185	0,313	0,000014
MESA PRIMARIA	8,35	0,0193	34.437		3,44370	223,84	0,224	0,379	0,000025

