

Determinación de los niveles de sostenibilidad del proceso de fabricación de tableros de caña brava (*Gynerium sagittatum*), a partir del método ACV-Coclowen

*Determination of levels of sustainability of the process of production of bitter cane (*Gynerium sagittatum*), boards through the ACV-Coclowen method*

WILVER CONTRERAS MIRANDA¹,
VICENTE CLOQUELL BALLESTER²,
MARY OWEN DE CONTRERAS³

¹ Universidad de Los Andes, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA-MPPA), Mérida, Venezuela, Email: wilconmi@aaa.upv.es; wilvercontrerasmiranda@yahoo.es

² Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Programa de Doctorado del Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Valencia, España, Email: cloquell@dpi.upv.es

³ Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Diseño Industrial, Mérida, Venezuela, Email: marowde@doctor.upv.es; marowen3@hotmail.com

Recibido: 01-04-08 / Aceptado: 09-07-08

Resumen

Las nuevas propuestas de materiales de construcción están sometidas actualmente a requerimientos, no sólo de calidad, bajos costos y seguridad, sino también, a la determinación y disminución de los impactos ambientales o niveles de sostenibilidad de esos productos a través de su ciclo de vida. De ahí que, la propuesta de manufactura de tableros aglomerados a partir de caña brava, y resto de gramíneas (bambú y guadua), sea una alternativa positiva de proyección presente y futura para la industria forestal y de la construcción. Eso no deja de considerar que esta última, y todos los subsectores en los que influye, sean de los que más impactos ambientales generen. Por ello, el trabajo de evaluación con el método ACV- Coclowen, define los niveles de sostenibilidad en el ciclo de vida de los tableros de caña brava, desde la obtención de materias primas, el proceso de manufactura industrial, su uso y disposición final. Se determinó, que es en las etapas de adquisición del adhesivo fenol formaldehído, transformación y secado de las cañas en partículas, donde se presentan negativamente los más significativos niveles de sostenibilidad. Las recomendaciones permiten considerar aspectos técnicos para la toma de decisiones oportunas, al momento del establecimiento de una planta industrial de tableros de caña brava.

Palabras claves: análisis de ciclo de vida, tableros, gramíneas, impactos ambientales.

Abstract

Proposals for new construction materials should consider such requirements as quality, costs, and safety for humans and the environment. A consideration should also be given to the life cycle of such materials. A proposal for the manufacturing of composite boards from bitter cane and other gramineous plants (bamboo and guadua) could be considered a positive alternative projection of the forest industry for construction materials. Taking into account that the forest industry generates environmental impacts, the ACV- Coclowen Method defines the sustainability levels in the manufacturing cycle of bitter cane composite boards from raw materials, manufacturing processes, end use, and final disposal of potential contaminants it was determined that the most significant harming impact is represented by the phenol based adhesive and the production and drying of bitter cane particles. The evaluation results generated some recommendation on technical aspects to be considered at the moment the industry for the fabrication of bitter cane boards is being planned.

Key words: analysis of cycle of life, boards, gramineous, environmental impacts.

1. Introducción

El Análisis de Ciclo de Vida de un producto industrial puede ser realizado a partir de la serie de normas ISO 14.040 (Norma ISO 14.040, 1998). Este método permite determinar los impactos ambientales o niveles de sostenibilidad, que se suceden a través del ciclo de vida de un producto (Fullana, 2003; Guzmán, 2005). Existen muchos software con bases de datos contextualizadas en los países desarrollados industrialmente, los cuales están muy dirigidos, especialmente a la definición de los aspectos medioambientales, y en menor rango a los factores sociales y económicos. Caso de estos softwares, el Simapro o el Athenea (IHOBE S.A., 2002; Vivancos, 2005).

Recientemente Cloquell *et al.* (2007) y Contreras *et al.* (2006a), desarrollaron una propuesta de método de análisis de ciclo de vida denominado ACV-Coclowen, el cual es más adaptado al ámbito de los países en vías de desarrollo industrial, caso países latinoamericanos. Este método tiene dos tipos, el de diagnóstico y el complejo, con el cual se obtienen los niveles de sostenibilidad de todo el ciclo de vida de un producto a través del estudio de las entradas, procesos y salidas de materias primas, consumo de energía, emisiones, residuos y otros, del sistema producto (Figura 1). En éste, según el área de trabajo, se emplean los indicadores medioambientales, sociales, económicos, etcétera, los cuales son valorados de manera consensuada por medio de los criterios de evaluación de los expertos. Una vez obtenidos los valores de cada etapa y el valor total del Sistema Producto del ciclo de vida del producto industrial, finalmente se ubica en las escalas de valoración del método ACV-Coclowen, en que estándar positivo o negativo se encuentra el producto estudiado.

En ese sentido, el presente trabajo se centra en la determinación de los niveles de sostenibilidad del proceso de fabricación de los tableros aglomerados de partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo fenol formaldehído (FF). Es importante resaltar que esta propuesta tecnológica a partir de esta gramínea, según Contreras *et al.* (2004), pertenece a la cultura constructiva antropológica del pueblo venezolano. Además, la propuesta es única en su tipo dentro de la temática de los tableros para la industria de la construcción y del mueble.

Por consiguiente, la investigación proyecta una oportunidad técnica a partir del ACV-Coclowen, de ser un fundamento previo al establecimiento de

una industria que manufacture este tipo de tableros, permitiendo determinar los más resaltantes niveles de sostenibilidad negativos y positivos, desde el punto de vista medioambiental y resto de factores holísticos que pueden llegar a afectar la armonía y equilibrio entre el hecho industrial y el entorno. Así se podrá tener claro y en plena correspondencia con el modelo planteado por Gómez-Orea (2003) y Contreras y Cloquell (2006), sobre el ámbito de relaciones que plantea la Integración Ambiental y el Diseño Ambientalmente Integrado (*dAI*), es decir, una relación de armonía y ecoeficiencia entre el proyecto y el entorno, para que de ahí permita determinar, si así lo amerita, la toma de decisiones oportunas para la mejora de proyectos, procesos y productos.

2. Materiales y métodos

2.1 Desarrollo de los tableros de partículas

Los tableros de partículas de caña brava y adhesivo fenol formaldehído fueron manufacturados en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA-MAPP) de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. El adhesivo FF fue aplicado con resinosidades de R10% y R13%, siendo fabricado por la industria química RESIMON, C.A. (2002), el cual es considerado por ésta como de calidad estructural y resistencia a la humedad. El presente estudio se centra sobre el proceso de fabricación de tableros con resinosidad de 13%, por considerarse que es el más desfavorable. Contreras *et al.* (2006b), determinaron los esfuerzos de diseño de los tableros, los cuales cumplieron con la norma venezolana Covenin, la norma American Society for Testing and Materials (ASTM), y la norma alemana del Instituto de Normalización Alemán (DIN), respecto a las propiedades de resistencia físicas y mecánicas.

2.2 Análisis de Ciclo de Vida a partir del Método ACV-Coclowen

Un aspecto importante del uso de la metodología del ACV-Coclowen al diseño de productos industriales, en esta primera etapa de desarrollo aplicado a los productos forestales, es que se pueden identificar los impactos negativos y positivos más resaltantes, especialmente, del proceso de manufactura, y de ahí que permita mejorar el proceso de diseño de

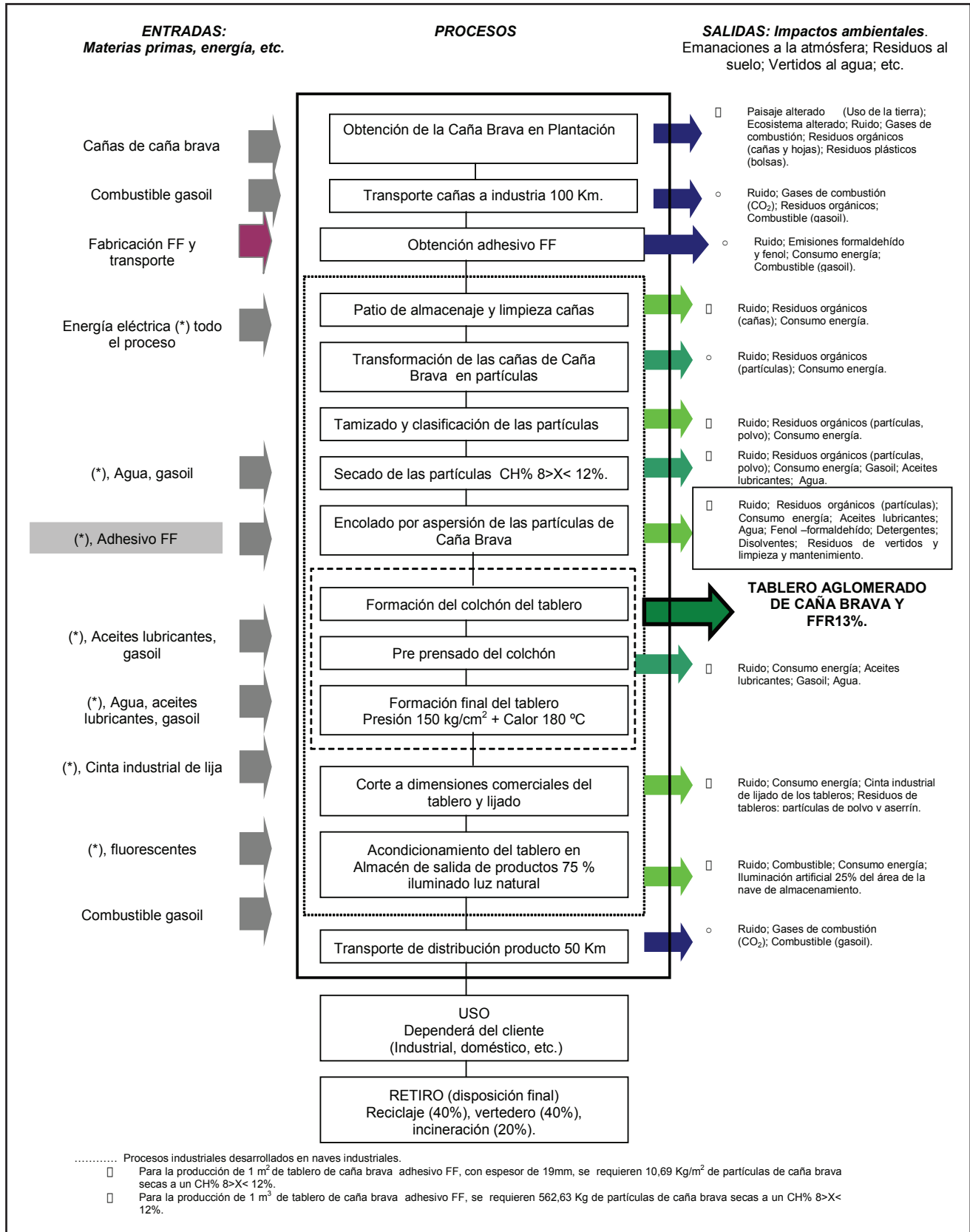


Figura 1. Flujograma de las principales etapas de los procesos en la fabricación industrial de tableros aglomerados de caña brava y adhesivo fenol formaldehído (FF) con resinosidad R13%. Fuente: Elaboración propia.

un producto con visión de sostenibilidad. De esta forma, dicen Capuz y Gómez (2002) y VROM (2002), que se pueden garantizar procesos más limpios o ecoeficientes, dando paso a la elaboración de su prototipo final, ensayos, preseries, mejoras del proceso, proyección del desarrollo de su tecnología de manufactura definitiva, estrategias de servicios del marketing, mantenimiento, etcétera.

Para el desarrollo de un ACV es importante la definición, entre otros, de los límites, alcances, unidad funcional y otros detalles técnicos del ACV (Norma ISO 14.040, 1998; Norma UNE 150.040, 1996). Respecto al presente proyecto de tableros aglomerados de partículas de caña brava, estos aspectos técnicos son expuestos resumidamente a continuación:

- *Inventario del Sistema Producto:* Tableros aglomerados de partículas de caña brava y adhesivo Fenol Formaldehído (FF).
- *Proyecto:* WCTCBFF080606A.
- *Autores* (generador, tratamientos de datos y calidad): Dr. Wilver Contreras Miranda; Dr. Vicente Cloquell Ballester, y Dra. Mary Elena Owen de Contreras.
- *Cliente:* Industria de Laminados Venezolanos LAMINVEN, S.A., Venezuela.
- *Fecha de Desarrollo del ACV:* 2006.
- *Norma:* Series ISO 14.040.
- *Sector:* Forestal (Industria Forestal) de Venezuela.
- *Industria:* Tableros de madera y productos lignocelulósicos e Industria de Madera Laminada Encolada.
- *Objetivos:* Realización de un ACV para la industria de tableros de aglomerados de partículas de caña brava y adhesivo fenol formaldehído a partir del método gráfico y analítico ACV-Coclowen.
- *Alcances:* Determinar los principales impactos ambientales positivos y negativos que se suceden en el Sistema Producto (Figura 1) de tableros aglomerados de partículas de caña brava, propuestos para ser manufacturados por una industria ubicada en la ciudad de El Vigía, estado Mérida, Venezuela, definiendo las valoraciones de esos impactos ambientales, entre otros, con los indicadores de daños ocasionados a la salud humana, ecosistemas y recursos naturales.
- *Funciones del Sistema Estudiado:* Desarrollo de la manufactura industrial de tableros aglomerados de partículas de caña brava de las plantaciones forestales de gramíneas proyectadas en la Zona Sur del Lago de Maracaibo del estado Mérida, Venezuela.
- *Unidad Funcional:* El presente trabajo parte de la definición de la Unidad Funcional de 1 m² de tablero homogéneo de partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) con un espesor de 0,019 m. El adhesivo empleado, por criterios propios del proyecto (alcanzar usos estructurales), es el adhesivo termoendurecible de fenol formaldehído a una resinosidad de 13 %. Sus características son las de ser un tablero desnudo, es decir, sin acabados superficiales o elementos de recubrimiento (chapas, laminas de melamina o fenol). Su densidad teórica es de 700 kg/m³. La propuesta de localización de la planta industrial es en la ciudad de El Vigía, municipio Alberto Adriani, estado Mérida, Venezuela.
- *Sistema de Producto y Límites:* El Sistema Producto queda definido en la Figura 1, con sus entradas, etapas de procesos, y salidas a través de las principales etapas del ciclo de vida de un producto de tableros de partículas de caña brava y FF.
- *Nivel de Dificultad:* La determinación de los impactos ambientales, según las características propias de método ACV-Coclowen, presenta en el actual trabajo un alto nivel de dificultad por el grado de detalles, especificidad y análisis de cada uno de los procesos industriales. Además, se pretende que con el nivel científico tecnológico de los expertos que realizan el ACV en el área de la tecnología de productos forestales, como lo recomienda Eriksson *et al.* (1996) y Collado (2004), se debe tratar de disminuir, en la medida de lo posible, el nivel de subjetividad de las valoraciones de los impactos ambientales y sus indicadores.
- *Procedimientos Utilizados en la Asignación de Cargas:* Análisis de ciclo de vida a partir del método analítico y gráfico ACV-Coclowen propuesto por Cloquell *et al.* (2007).
- *Tipos de Impacto y Metodología Usada:* Indicadores de impactos ambientales de daños a la salud humana, daños a los ecosistemas y daños a los recursos naturales.
- *Método de Recopilación:* ACV-Coclowen.
- *Verificación:* Dr. José Luís Vivancos Bono y Dr. Vicente Cloquell Ballester. Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- *Comentarios Técnicos:* La definición de la propuesta del método de análisis del ciclo de vida a partir

del modelo gráfico analítico ACV-Coclowen, exige el desarrollo de un inventario de cada etapa del proceso industrial, y éste debe ser lo más detallado posible de cada una de las entradas y salidas. Todo ello conducirá a que el equipo de evaluadores pueda tener un mayor diagnóstico técnico-científico-humanístico, lo que facilitará una mejor toma de decisiones al momento de cuantificar los impactos ambientales de los procesos industriales del proyecto en estudio.

La figura 1 representa el Sistema Producto del ACV de los tableros estudiados. El desarrollo de todos los cuadros del inventario del ACV, han sido definidos según cada uno de los procesos expuestos en el Sistema Producto. Los mismos han sido hechos de manera consensual entre los criterios técnicos del panel de expertos participantes en la investigación, en lo que se refirió a los siguientes puntos: Diagnóstico del problema; Caracterización de los problemas según los distintos factores y aspectos técnicos de evaluación del ACV; Determinación de los indicadores de evaluación de los niveles de sostenibilidad del ACV; Uso de escalas de valoración; Otros. En ese sentido, se expone a modo de ejemplo el cuadro 1, correspondiente al inventario de la etapa del proceso de secado de las partículas de caña brava.

3. Resultados y discusión

El cuadro 2 expone el resumen de la valoración de cada uno de los impactos según el indicador que se está determinando en el desarrollo del Sistema Producto, de la mezcla que conforma los tableros de partículas de caña brava y adhesivo fenol formaldehído. El cuadro 3 permite apreciar el resumen de resultados del análisis del ciclo de vida de los tableros aglomerados de partículas de madera de caña brava y adhesivo FF según método ACV-Coclowen. Con este último cuadro se generan todos los resultados técnicos del ACV, las proyecciones, las fortalezas y debilidades del Sistema Producto, pero de manera especial la valoración total de la puntuación única de los Impactos Ambientales Totales (IATSP).

Las figuras 2 y 3 son correspondencia de los resultados obtenidos en los inventarios de cada etapa, reportados sucintamente en el cuadro 2. Al estudiar las figuras, se puede notar con mayor realce que es en las etapas de obtención (incluye fabricación) del ad-

hesivo fenol formaldehído, seguidos de las etapas de secado y encolado de partículas, formación del tablero y dimensionado final, donde se producen los mayores impactos sobre los indicadores de uso y explotación de los recursos naturales y, de forma análoga, sus impactos negativos sobre los ecosistemas y salud humana.

Respecto a los impactos sociales y económicos generados por el Sistema Producto en estudio, se puede inducir que en el análisis técnico de los expertos, prevaleció todo un conjunto de aspectos positivos, entre otros: Generación de empleos; beneficios en la mejora de calidad de vida de las comunidades rurales por la implantación de los programas de plantación de gramíneas por parte de la Administración y creación de nuevas infraestructuras urbanísticas en el medio rural; Desarrollo de sistemas de producción sostenibles y paralelos para el aprovechamiento de las gramíneas para la fabricación de muebles, productos forestales para cerramientos, estructuras, juguetes, etcétera.

La figura 3, expone que ha existido, salvo en la etapa de obtención del adhesivo FF, una cierta uniformidad de la valoración de impactos en el ciclo de vida de los tableros de caña brava y FF.

Al estudiar la figura 4, se puede apreciar que en las etapas de dimensionamiento final de los tableros se generan grandes pérdidas de material y gasto energético. La etapa de encolado presenta altos impactos negativos sobre el suelo, producto de la posible generación de residuos químicos sólidos y líquidos al suelo. En la etapa de uso del tablero se obtienen impactos positivos por la fijación de carbono, uso de material lignocelulósico alternativo, económico y socialmente más cercano a la cultura constructiva antropológica del pueblo venezolano. En la etapa de la disposición final del tablero repercute de forma positiva sobre la conservación de materiales, ya que el tablero en su totalidad puede llegar a ser reciclado una vez cumpla con su etapa de uso.

La figura 5, resalta como en la etapa de la obtención del adhesivo fenol formaldehído fabricado por la Industria RESIMON, Valencia, Venezuela, se presentan altos impactos que contribuyen al deterioro de la capa de ozono y a la calidad del agua y el aire, ocasionados ya por el consumo de energía, residuos y emisiones peligrosas en la obtención de las materias primas (hidrocarburos y sustancias petroquímicas), en los procesos de fabricación, manipulación del adhesivo y transporte.

En la obtención de la caña brava en plantaciones ribereñas, por método de extracción selectiva, se dis-

Cuadro 1. Inventario del Proyecto WCTCBFF080606A. ETAPA: Secado de las partículas.

| Nombre | Cant. | Un. | Inc/ S | Comentarios | Valoración de la etapa según Indicador IA _{sp} usando escala de transformación | | | | | | | | | |
|--|-------|-----|--------|---|---|-----|-------|-------|--------------------------|-------|-------|--------|---------------------------|---|
| | | | | | IA Recursos Naturales | | | | IA Ecosistemas (PM) | | | | IA Salud Hum. | |
| | | | | | IA s/b | IAe | IA rh | IA cm | IA he | IA de | IA cg | IA caa | IA th | |
| PRODUCTO | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos Co-productos (residuos MP otra industria)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Secado de partículas. | 14,01 | kg | | 1 m ² de tablero de estas características son 0,019 m ³ , y representa la cantidad de 13,3 Kg de los cuales 11,57 Kg son de partículas de caña brava (peso por caña de 2,80 Kg a un 8% CH), y 1,73 kg son de adhesivo FF (incluye catalizador, agua, etc.). Un requisito indispensable para garantizar la buena calidad de fraguado del adhesivo FF es que el contenido de humedad final de las partículas deberá estar entre el 8 y 12 % de CH. Se requieren 14,01 kg de partículas para este proceso, ya que de 16,48 se ha producido una perdida de 15% de material. | | | | | | | | | | |
| ENTRADAS | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Entradas conocidas desde la naturaleza</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Agua fresca | 0,500 | lt | | Se necesitan un promedio de 0,500 lt de agua en 10 minutos para generar el vapor de secado de los 16,53 kg de partículas de caña. | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles).</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Gasoil | 0,240 | kg | | Para una secadora industrial de madera sólida se requieren aproximadamente 1200 litros de gasoil para 20 m ³ de madera. El proceso de secado de los tableros es un proceso continuo, de ahí que para secar 16,53 kg de partículas de caña brava se requieren solo 0,28 lt de gasoil. La densidad del gasoil usado en Venezuela es de 0,840 gr/lt. Transformados los 0,28 lt dan 0,240 kg por cada m ³ . | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | |
| Aceites lubricantes (Oil light B300) | 0,010 | kg | | Aceite para la lubricación de piezas motrices de la secadora industrial de partículas de caña brava. | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | |
| <i>Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad / calor).</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Energía eléctrica de Venezuela | 0,245 | MJ | | Según los especialistas de la Compañía Eléctrica del Oriente de Venezuela, en el caso de la máquina de secado, por sus altos requerimientos de energía puede llegar a consumir un promedio de 0,4 0 kwh (1,44 MJ) en 1 hora. Para procesar 16,53 Kg (4,74 cañas) se requieren 0,245 MJ en un tiempo de 10 minutos (0,17 h) | 0 | -3 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SALIDAS | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Emisiones al suelo</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Residuos (partículas de caña brava) | 0,580 | Kg | | En la etapa de secado se pierde un 5% de material. | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Emisiones no materiales (ruido, humo, etc.)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Ruido de máquinas (noise) | 30 | dB | | Ruido que genera la máquina de secado. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | |
| | | | | Suma parcial de la valoración de impactos ambientales que conforman los principales indicadores. | -1 | -3 | -1 | -2 | 0 | 0 | 0 | -3 | -1 | |
| | | | | Suma parcial de la valoración de impactos ambientales en la Etapa <i>Secado de las partículas</i> | IARN ₁ (1)= - 7 | | | | IAE ₁ (2)= -3 | | | | IADS ₁ (3)= -1 | |
| | | | | Suma total (puntuación única) de la valoración de los impactos ambientales de la Etapa | ∑ IAT _{etapa} (4) = -11 | | | | | | | | | |
| IA b/s: Impacto ambiental sobre suelos y bosques. IA e: Impacto ambiental sobre uso de fuentes de energía. IA rh: Impacto ambiental sobre los recursos hídricos. IA cm: Impacto ambiental sobre la conservación de materiales. IA he: Impacto ambiental sobre hábitats ecológicos. | | | | IA de: Impacto ambiental sobre la diversidad de especies. IA cg: Impacto Ambiental sobre el clima global (capa de ozono, etc.). IA caa: Impacto ambiental sobre la calidad del aire. IA th: Impacto ambiental sobre la toxicidad humana. ∑ IAT _{etapa} (4): Sumatoria parcial de todos los Impactos Ambientales de la etapa 4 del Sistema Producto. | | | | | | | | | | |

Cuadro 2. Resumen de la valoración de impactos de todo el Sistema Producto de los tableros aglomerados de partículas de caña brava y adhesivo fenol formaldehído FF-R13%.

| ETAPA | IA Recursos Naturales | | | | IA Ecosistemas (PM) | | | | IA Salud Humana | Imp. Soc. | Imp. Econ | Parcial c/ Etapa |
|---|-----------------------|-----|-------|-------|---------------------|-------|-------|--------|-----------------|-----------|-----------|------------------|
| | IA s/b | IAe | IA rh | IA cm | IA he | IA de | IA cg | IA caa | IA th | | | |
| 1 Obtención de caña brava en plantación | 2 | -4 | 2 | 3 | -2 | 4 | 3 | -2 | -2 | 2 | 2 | 8 |
| | 3 | | | | 3 | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | |
| 2 Obtención adhesivo FF (Venezuela) | -2 | -8 | -9 | -6 | -1 | -1 | -7 | -12 | -11 | -3 | 2 | -58 |
| | -25 | | | | -21 | | | | | | | |
| | -57 | | | | | | | | | | | |
| 3 Transporte de cañas a la industria | 1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | -3 | 0 | 2 | 2 | -2 |
| | -2 | | | | -4 | | | | | | | |
| | -6 | | | | | | | | | | | |
| 4 Patio almacenaje y limpieza de cañas | 1 | -3 | -1 | 1 | -1 | 0 | 0 | -2 | 0 | 2 | | -3 |
| | -2 | | | | -3 | | | | | | | |
| | -5 | | | | | | | | | | | |
| 5 Transformación de cañas en partículas | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4 | -3 | 2 | 2 | -3 |
| | 0 | | | | -4 | | | | | | | |
| | -7 | | | | | | | | | | | |
| 6 Tamizado, clasificación y acondicionamiento | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4 | -4 | | | -8 |
| | 0 | | | | -4 | | | | | | | |
| | -8 | | | | | | | | | | | |
| 7 Secado partículas a CH% 8>X<12 | -1 | -3 | -1 | -2 | 0 | 0 | 0 | -3 | -1 | | | -11 |
| | -7 | | | | -3 | | | | | | | |
| | -11 | | | | | | | | | | | |
| 8 Encolado por aspersion de partículas de caña | -6 | -4 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | -7 | -8 | -1 | | -28 |
| | -12 | | | | -7 | | | | | | | |
| | -27 | | | | | | | | | | | |
| 9 Formación colchón, preensado y formación final tablero | -3 | -2 | -3 | -4 | -1 | 0 | -1 | -7 | -3 | | | -24 |
| | -12 | | | | -9 | | | | | | | |
| | -24 | | | | | | | | | | | |
| 10 Dimensión/lijado final del tablero | -1 | -6 | -1 | -5 | -1 | 0 | 0 | -3 | -2 | -1 | | -20 |
| | -13 | | | | -4 | | | | | | | |
| | -19 | | | | | | | | | | | |
| 11 Acondicionamiento/almacenaje tablero | 0 | -2 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -2 | 0 | | | -8 |
| | -3 | | | | -5 | | | | | | | |
| | -8 | | | | | | | | | | | |
| 12 Transporte industria al cliente (50 km). | -1 | -1 | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 2 | 2 | -1 |
| | -3 | | | | -2 | | | | | | | |
| | -5 | | | | | | | | | | | |
| 13 Uso del tablero | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 15 |
| | 5 | | | | 7 | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | |
| 14 Disposición final tablero (rec. 40%; vert. 40%; inci. 20%). | -1 | -1 | 0 | -2 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | -1 | -7 |
| | -4 | | | | -3 | | | | | | | |
| | -7 | | | | | | | | | | | |
| Totales sub indicadores Sistema Producto | -7 | -35 | -15 | -18 | -6 | 4 | -7 | -50 | -34 | 8 | 10 | |
| TOTALES INDICADORES SISTEMA PRODUCTO | -75 | | | | -59 | | | | -34 | 8 | 10 | |
| PUNTUACIÓN ÚNICA | -150 | | | | | | | | | | | |

Cuadro 3. Resumen de resultados totales y análisis sintético del análisis del ciclo de vida de los tableros aglomerados de partículas de caña brava y adhesivo FF según el método ACV-COCLOWEN. Fuente: Elaboración propia.

| Observaciones | Fortalezas | Debilidades | Puntuación única por proceso | | | |
|---|---|---|---|------|------|----------|
| | | | | | | |
| <p>El valor obtenido de la Puntuación Única del ACV-Coclowen para el análisis de ciclo de vida de los tableros aglomerados fabricados en Venezuela a partir de partículas de caña brava y adhesivo fenol formaldehído (R13%), fue de PU = - 150. Este valor, a pesar de ser el reporte de impactos negativos, presenta valores menores que los obtenidos para los tableros de la madera sólida de pino caribe y adhesivo urea formaldehído (Cloquell <i>et al.</i>, 2007). Los mayores impactos se reseñan en la obtención del adhesivo FF, encolado de partículas, formación final del tablero y dimensionado final del tablero (Figuras 2 y 3). Este producto forestal determinó en su ACV que su Sistema Producto genera una valoración negativa de impactos medioambientales totales IAT_{sp} = - 54,134 (5), valor más inferior que el valor obtenido para el ACV realizado para los tableros de madera de pino caribe de la Orinoquia (IAT_{sp} = - 133,51) (Cloquell <i>et al.</i>, 2007). Es decir, según Figura 6, este producto en la escala de valoración del método, corresponde a un producto forestal cuyo impacto ambiental es un impacto moderado negativamente (-1), con tendencia a compatible negativamente (0). La Figura 6 ubica que el Sistema Producto se encuentra en el Rango de Tolerancia a la mejora de los aspectos negativos.</p> | <p>A pesar de que los impactos han arrojado valores negativos, la perspectiva de posible industria evaluada de tableros aglomerados de partículas de caña brava y FF, tiene la principal fortaleza de que cumple en la mayoría de las etapas del Sistema Producto con valores de muy bajo impacto ambiental negativo, categoría de compatibilidad negativa (-25-0) en cada una de las salidas del proceso. Al desarrollarse el proyecto de la industria y mejorar los procesos industriales y materiales más amigables (P+L) y tecnología de punta, se puede llegar a tener un producto sostenible industrialmente.</p> | <p>Existe una fuerte valoración negativa de los impactos ambientales en las etapas de obtención (fabricación) del FF (- 58). Otras etapas con impactos negativos bajos, casi compatibles positivamente y que se pueden mejorar tecnológicamente, son: Etapa de encolado de partículas (-28); Etapa de formación del tablero (-24); Etapa de dimensionado final (-20).</p> | 1 Obtención cañas en plantación | 8 | | 8 |
| | | | 2 Obtención adhesivo FF | - 58 | | -58 |
| | | | 3 Transporte cañas a industria | - 2 | | -2 |
| | | | 4 Patio almacenaje y limpieza | - 3 | 0,02 | -0,060 |
| | | | 5 Transformación de cañas en partículas | - 3 | 0,18 | -0,054 |
| | | | 6 Tamizado y acondicionamiento | - 8 | 0,13 | -1,040 |
| | | | 7 Secado partículas | - 11 | 0,32 | -3.520 |
| | | | 8 Encolado partículas | - 28 | 0,01 | -0,280 |
| | | | 9 Formación final del tablero | - 24 | 0,12 | -2,880 |
| | | | 10 Dimensión/lijado final del tablero | - 20 | 0,11 | -2,200 |
| | | | 11 Acondicionamiento/almacenaje tablero | - 8 | 0,01 | -0,080 |
| | | | 12 Transporte industria al cliente | - 1 | 0,02 | -0,020 |
| | | | 13 Uso del tablero | 15 | | 15 |
| | | | 14 Disposición final tablero | - 7 | | -7 |
| | | | Puntuación única | -150 | | - 54,134 |
| $IAT_{sp} = \sum +/- (IAT_{etapa 1} \times \rho_{etapa 1}) +/- (IAT_{etapa 2} \times \rho_{etapa 2}) \dots +/- (IAT_{etapa n} \times \rho_{etapa 1}) \quad (5)$ | | | IAT _{sp} = - 54,134 (5) Impactos ambientales totales del sistema producto tableros partículas de caña brava y FF -R13%. | | | |

minuyen los impactos sobre el hábitat ecológico, al ser comparados con el aprovechamiento del pino caribe por el método de corte a ras dejando el tocón del árbol y el follaje en el suelo abierto. Otro impacto positivo en esta etapa es su contribución a la protección de la capa de ozono y fijación de carbono, dado por su rapidez de crecimiento (máximo 2 años), alto volumen de producción, material lignocelulósico sustitutivo de la madera sólida, etc. Los indicadores de hábitat ecológico, diversidad de especies y daños a la capa de ozono, a pesar de que se reportan impactos negativos, los mismos aportaron valores bajos y casi uniformes, en buena parte de las etapas del ciclo de vida de los tableros de caña brava (Figuras 4 y 5).

Los resultados finales son expuestos de forma gráfica en la figura 6, pudiéndose apreciar los diferentes y más importantes impactos reportados en el desarrollo del análisis de ciclo de vida de los tableros de partículas de caña brava y FF-R13% por el método de ACV-Coclowen. Las figuras denotan de forma legible las fortalezas y debilidades de las etapas del Sistema Producto analizado. Al comparar los valores de los impactos (PU y IAT_{sp}) de los tableros de caña brava y FF, resultaron ser menores y más sostenibles que los obtenidos con el Sistema Producto de los tableros de partículas de madera de pino caribe y UF.

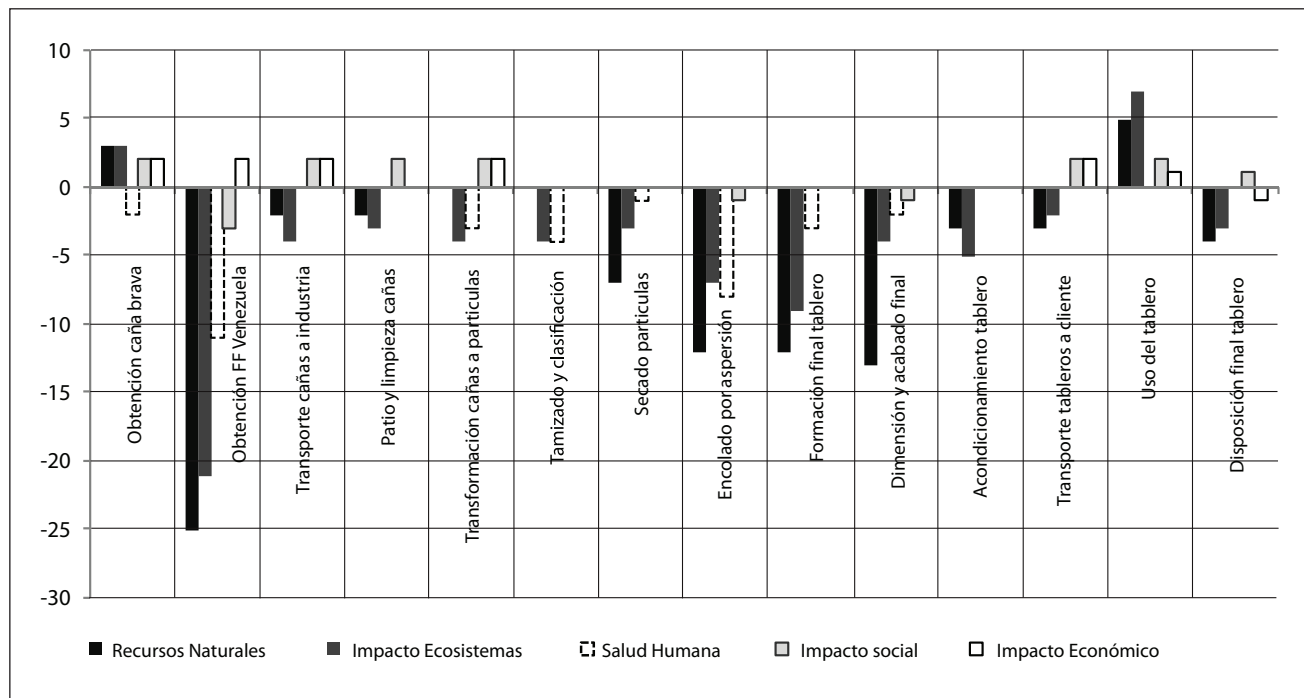


Figura 2. Valoración por el método ACV-Coclowen de los indicadores referidos a los impactos naturales, ecosistemas, salud humana (toxicidad), impacto social y económico del sistema producto de los tableros aglomerados de caña brava y FF-13%. Fuente: Elaboración propia.

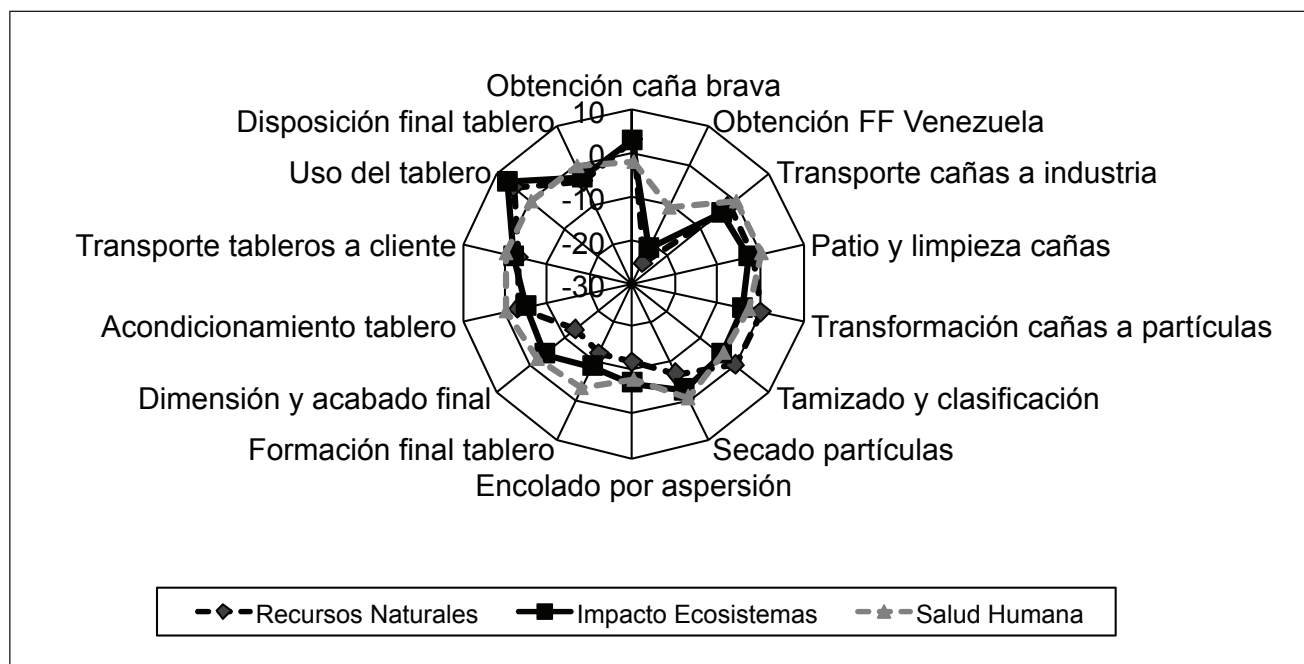


Figura 3. Valoración por el método ACV-Coclowen de los indicadores referidos a los impactos naturales, ecosistemas, salud humana (toxicidad), impacto social y económico del sistema producto de los tableros aglomerados de caña brava y FF-13%. Fuente: Elaboración propia.

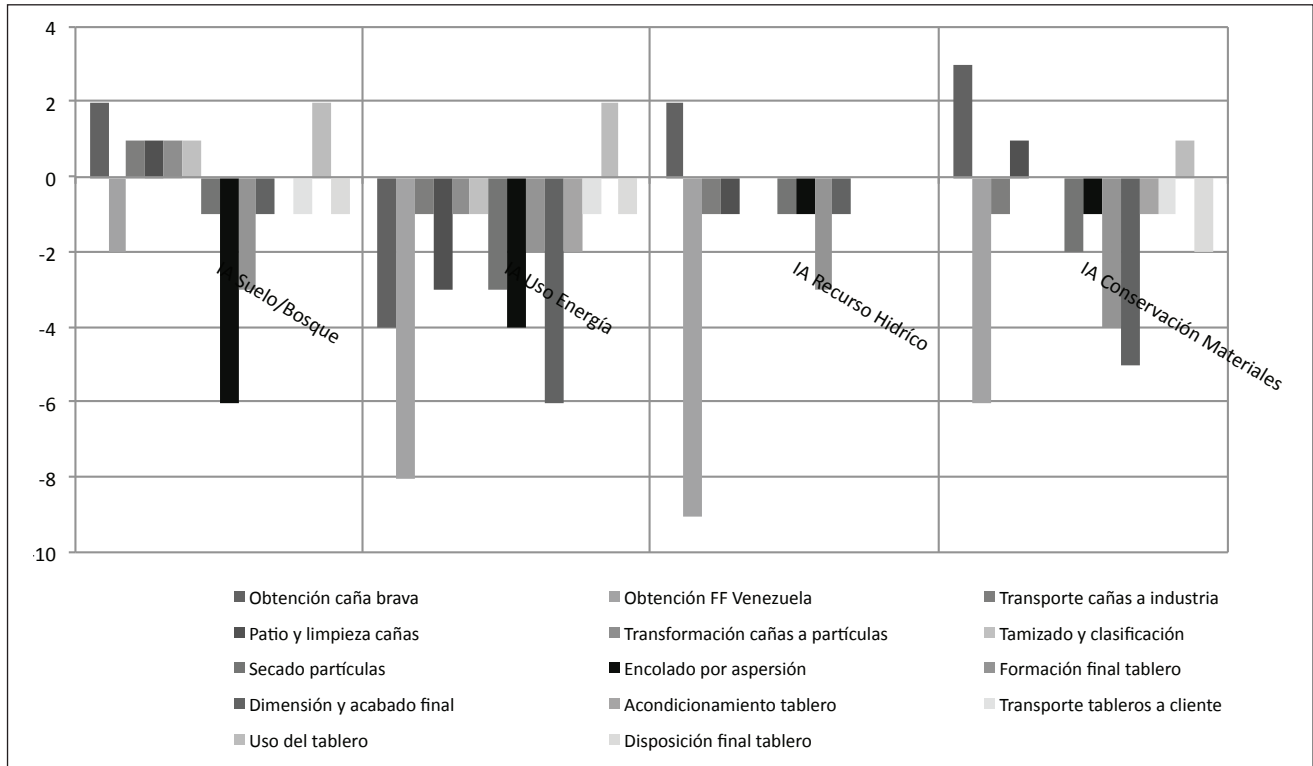


Figura 4. Valoración por el método ACV-Coclowen de los sub-indicadores referidos a los impactos sobre el suelo/bosques, uso de energía, recurso hídrico y conservación materiales del Sistema Producto de los tableros aglomerados de caña brava y FF-R13%. Fuente: Elaboración Propia.

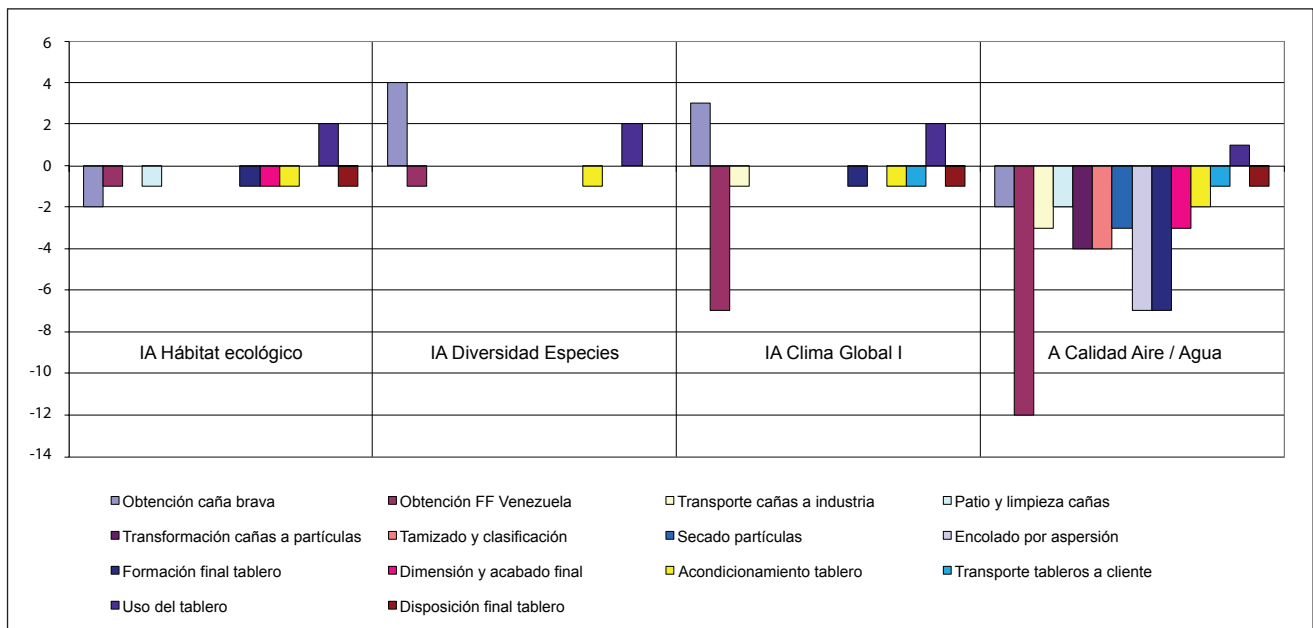


Figura 5. Valoración por el método ACV-Coclowen de los sub-indicadores referidos a los impactos sobre el hábitat ecológico, diversidad de especies, clima global y calidad aire/agua del Sistema Producto de los tableros aglomerados de caña brava y FF-R13%. Fuente: Elaboración Propia.

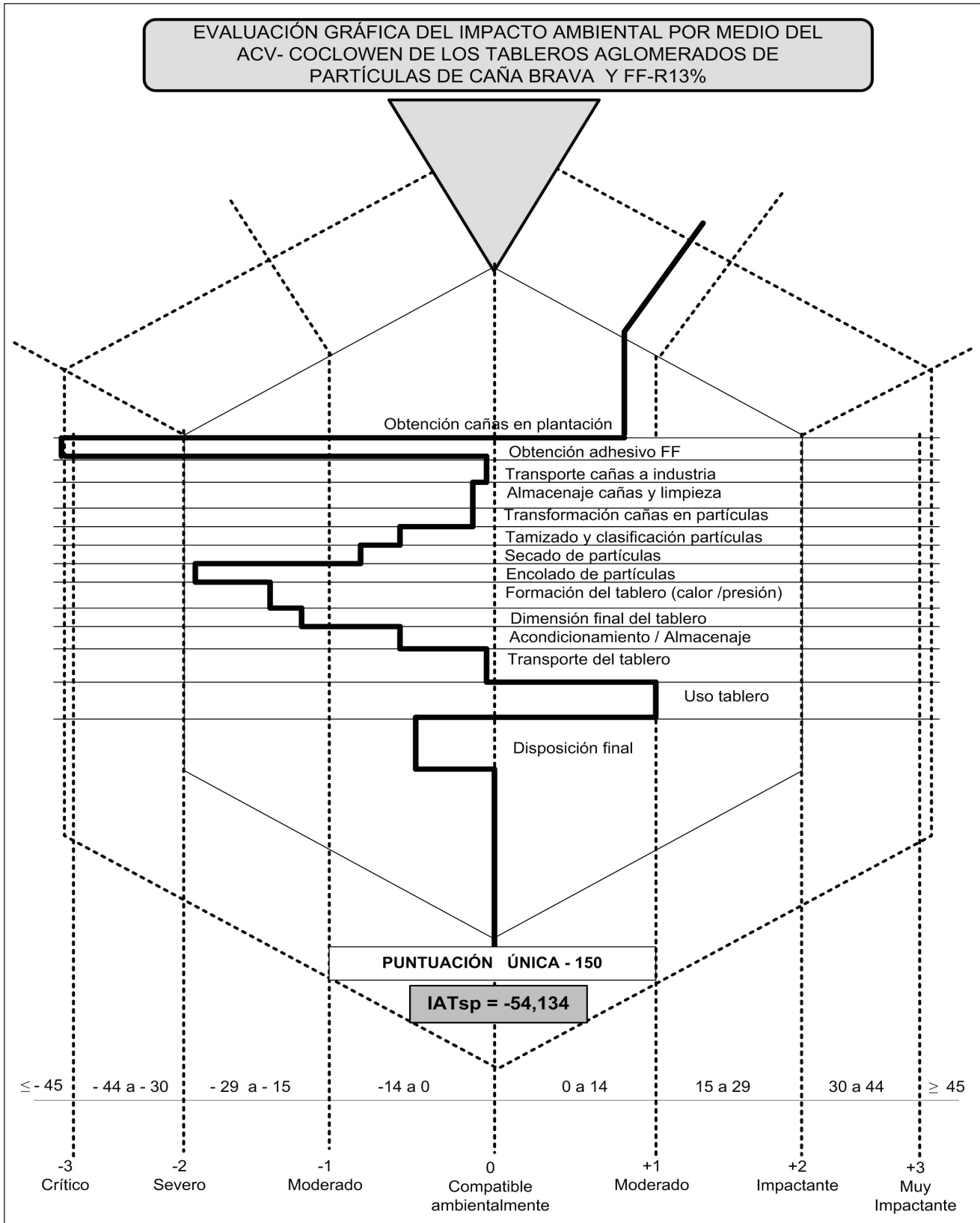


Figura 6. Detalle del gráfico final resumen con la Puntuación Única e Impacto Ambiental Total (IAT sp) definido en el Análisis de Ciclo de Vida a través del método ACV-Coclowen para el Sistema Producto de los tableros aglomerados de caña brava y FF-R13%. Fuente: Elaboración Propia.

4. Conclusiones

A partir del uso del método ACV-Coclowen, y haciendo uso de la serie de normas ISO 14.040, se desarrolló un análisis de ciclo de vida al Sistema Producto del producto forestal, tableros aglomerados de partículas de caña brava y adhesivo fenol formaldehído con resinosidad R13%. La propuesta tecnológica de este tipo de tableros es contextualizada en Venezuela, específicamente en la Zona Sur del Lago de Maracaibo. Se pudo determinar en el proceso de inventario de todas las etapas del ciclo de vida del producto estudiado, que el valor total de la Puntuación Única fue de $PU = -150$, y la valoración de los Impactos Ambientales Totales del Sistema Producto fue de $IAT_{sp} = -54,134$.

Al ser comparados los valores totales obtenidos con la escala general de niveles de sostenibilidad de un producto industrial a partir del método complejo ACV-Coclowen, se pudo hallar que los tableros de partículas de caña brava, son un tipo de producto industrial que corresponde a un producto forestal, cuyo impacto ambiental es un impacto moderado negativamente (-1), con tendencia a compatible negativamente (0).

Además, esta escala cualitativa ubica el Sistema Producto en el Rango de Tolerancia a la mejora de los aspectos negativos, especialmente en las etapas de fabricación del adhesivo fenol formaldehído, el secado de partículas y el proceso de encolado que mostraron altos valores de -58 en los niveles de sostenibilidad. Para ello, se recomienda que la empresa fabricante aumente sus controles de emisiones de formaldehído y otras sustancias químicas a la atmósfera y a las aguas superficiales a través del uso de filtros y placas depuradoras. Para los proyectistas se debe tomar en cuenta la posibilidad de hacer uso de adhesivos estructurales más amigables con el medioambiente, así como aplicar en los procesos de manufactura las normas de seguridad industrial en las etapas de encolado para disminuir los riesgos a la toxicidad humana. En el proceso de secado se recomienda para el diseño de la industria, hacer uso de residuos de madera para alimentar las calderas de vapor y así disminuir el uso de energía eléctrica en las cámaras industriales de secado de partículas.

5. Agradecimientos

Al Dr. Ing. José Luís Vivancos Bono del Departamento de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Valencia, España, por su apoyo en la verificación técnica del ACV realizado en el presente trabajo.

6. Referencias bibliográficas

- CAPUZ, S. y T. GÓMEZ. 2002. *Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 268 p.
- CLOQUELL V., W. CONTRERAS, M. OWEN DE CONTRERAS y J. VIVANCOS B. 2007. *Evaluación del nivel de sostenibilidad de la Madera y los Productos Forestales. Método Análisis de Ciclo de Vida ACV-COCLOWEN*. Editorial Fundación Politécnica de la Universidad Politécnica de Valencia, España. 215 p.
- COLLADO, D. 2004. *Ecodiseño de una Impresora*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- CONTRERAS W., V. CLOQUELL y M. OWEN DE C. 2006a. *El Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), propuesta de índice medioambiental para determinar el nivel de ecoeficiencia de un producto industrial*. Ponencia. X Congreso AEIPRO. Valencia, España.
- CONTRERAS W., M., OWEN DE C., CLOQUELL V., CONTRERAS Y. y D. GARAY. 2006b. Diseño de tableros de partículas de caña brava y adhesivo fenol-formaldehído (R 10% y R 13%). *Revista Forestal Latinoamericana* 39:39-57.
- CONTRERAS W. y V. CLOQUELL. 2006. *Propuesta metodológica de Diseño Ambientalmente Integrado, para Proyectos de Diseño de nuevos productos de madera laminada encolada de calidad estructural*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 452 p.
- CONTRERAS, W., M. OWEN DE C., V. CLOQUELL y Y. CONTRERAS. 2004. *Generación de nuevos productos forestales para sistemas estructurales a partir de gramíneas y residuos de plantación de pino caribe (Pinus caribaea var. hondurensis)*. Ponencia DPI-11. VII Congreso AEIPRO. 6-8 octubre. Bilbao, País Vasco, España.
- ERIKSSON, E., V., JOHANNISSON and T., RYDBERG. 1996. *Life cycle assessment: description of four methods*. Chalmers Industriteknik. CIT. 2. 150 p.
- FULLANA, P. 2003. *Análisis de Ciclo de Vida*. Seminario La Integración Ambiental de planes, proyectos y productos. Tomo IV. UIMP. Valencia, España. 55 p.

- GÓMEZ-OREA, D. 2003. *Integración Ambiental de Proyectos. Fundamentos y casos. Seminario de la Integración Ambiental de Planes, Proyectos y Productos*. Ponencia 7029/1. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Tomo I: 1-11.
- GUZMÁN, M. L. 2005. *Propuesta metodológica para la integración del factor ambiental en el diseño de productos y de procesos. Caso de Estudio, del sector del mueble del estado de Jalisco (México)*. Tesis Doctoral. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 379 p.
- IHOBE S. A. 2002. *Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de Implantación en 7 pasos*. IHOBE S.A. Bilbao, País Vasco. España. 375 p.
- NORMA ISO 14040. 1998. *Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición de Objetivo y alcance y el análisis de inventario*. 32 p.
- NORMA UNE 150.040. 1996. *Análisis de Ciclo de Vida. Principios Generales*. AENOR. 41 p.
- RESIMON, CA. 2002. *Catalogo técnico de adhesivos estructurales*. Valencia, Venezuela. 5 p.
- VIVANCOS, J. L. 2005. *Propuesta metodológica para la simplificación del ACV en su aplicación a los componentes plásticos del automóvil en el marco del Ecodiseño*. Tesis Doctoral. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 405 p.
- VROM. 2002. *LCA for acetylated wood. Final report 2: light duty piling in fresh water use*. Conducted by the Imperial College London and SHR Timber Research for the Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Netherlands. 315 p.