

# Evaluación de proyectos y técnicas de decisión multicriterio para determinación de procesos más ecoeficientes, para obtener pulpa para papel y cartón

*Evaluation of projects and multicriteria decision techniques to resolve the most ecoefficient kraft pulp for paper and cardboard*

MARÍA TERESA RONDÓN SULBARAN<sup>1</sup>,  
WILVER CONTRERAS MIRANDA<sup>2</sup>,  
RAFAEL MONTERDE DÍAZ<sup>3</sup>  
y MARY OWEN DE CONTRERAS<sup>4</sup>

1 Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, correo electrónico: mariat@ula.ve

2 Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, correo electrónico: wilver@ula.ve

3 Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Proyectos de Ingeniería, Valencia, España, correo electrónico: rmonterde@gmail.com

4 Universidad de los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Mérida, Venezuela, correo electrónico: mowen@ula.ve

Recibido: 25-02-11 / Aceptado: 10-10-11

## Resumen

Esta investigación hace uso de las técnicas de evaluación de proyectos, tomando como ejemplo hipotético la empresa transnacional "Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.". Se realizó la evaluación de un proyecto de optimización del proceso Kraft más ecoeficiente para la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtener pulpa para papel y cartón de esta industria. A partir de la aplicación y modelización de las Técnicas de Decisión Multicriterio Discreta (Mcdm), se logra proyectar de manera prospectiva los procesos tecnológicos que permiten definir desde el punto de vista teórico-práctico cuál es la mejor alternativa de designificación. Se elaboraron tres modelos de estructura jerárquica (factores, parámetros, alternativas), siendo el Modelo 3 el mejor. Éste definió 3 alternativas de designificación: Alternativa 1 (A1) Pulpa Tipo I (Nº Kappa 10-20); Alternativa 2 (A2) Pulpa Tipo II (Nº Kappa 20-30); Alternativa 3 (A3) Pulpa Tipo III (Nº Kappa > 30). La Alternativa 1 (A1) obtuvo la mayor puntuación de 0,573, por ser la más óptima en sus especificaciones y condiciones respecto a los factores ambientales, tecnológicos y socio económicos; cocción más adecuada para garantizar su aplicación en reformular la clasificación de astillas tomando en cuenta sus 3 dimensiones (espesor, longitud y ancho) para la obtención de un tamaño homogéneo; reducción en el consumo de químicos; mejorar la calidad del producto obtenido; maximizar el uso y aprovechamiento de energía en planta de pulpa; suministrar pulpas químicas de acuerdo a los requerimientos de formulación del molino, buscando aumentar la rentabilidad de la empresa tomando en consideración las limitaciones y las capacidades propias de las instalaciones existentes. Se determinó que las técnicas Mcdm son importantes al permitir la oportuna toma de decisiones; ahorro económico en proyectos de nuevos procesos industriales; tiempos y optimización de procesos; mayor rendimiento productivo y ganancias para la empresa Smurfit.

**Palabras clave:** procesos de pulpificación, proceso de jerarquización analítica - AHP, dimensiones de astillas, pulpas Kraft, ecoeficiencia.

## Abstract

This research makes use of project evaluation techniques, taking as a hypothetical example, the transnational corporation "Smurfit Kappa Carton de Venezuela SA". Assessment is made of a process optimization project by determining most ecoefficient kraft, the size of chips and appropriate cooking time for pulp for paper and paperboard industry. From the application and modeling of Discrete Multicriteria Decision Techniques (Mcdm), projection is done prospectively to define technological processes from the theoretical viewpoint and practical viewpoint which is the best alternative delignification. Three models were developed hierarchically structured (factors, parameters, options), Model 3 being the best. This alternative delignification defined 3: Alternative 1 (A1) Pulp Type I (Kappa No. 10-20), Alternative 2 (A2) Type II pulp (Kappa No. 20-30), Alternative 3 (A3) Type III pulp (Kappa No. > 30). Alternative 1 (A1) obtained the highest score of 0.573, as the more optimistic in their specifications and conditions with regard to environmental factors, technological and socio-economic, adequate cooking to ensure its application to redesign the chip classification taking into account its 3 dimensions (thickness, length and width) to obtain a uniform size, reduction in chemical consumption, improve the quality of the product, maximize the use and utilization of energy in pulp mill, supplying chemical pulps according to design requirements of the mill, seeking to increase the profitability of the company taking into consideration the limitations and capabilities of existing facilities themselves. It was determined that MCDM techniques are important to allow timely decision making; saving money on projects of new industrial processes and process optimization times; higher production yields and profits for the company Smurfit.

**Key words:** paper pulp processes, analytic hierarchy process - AHP, chips size, Kraft pulp, ecoefficiency.

## 1. Introducción

La evaluación de programas y/o proyectos se realiza con el propósito de influir en el proceso de toma de decisiones. En tal sentido, en el transcurso del tiempo se han utilizado variadas y novedosas técnicas de evaluación, pero muchas veces su empleo depende de la voluntad que se tenga para dar cuenta de sus resultados hacia la ciudadanía o una determinada organización. Es por ello, sin duda alguna que la evaluación es una disciplina que ha ido tomando mayor importancia en todas las áreas de la ciencia, tecnología e investigación, donde poco a poco ha ido concientizando las mentes de quienes toman decisiones en mejora de sus acciones finales, lo que no ha estado exento de obstáculos, ya que en muchos casos la actuación de ciertos actores al realizar una evaluación no es la más satisfactoria. Lo cierto es que existe una tendencia a utilizarla sólo en ciertas circunstancias, cuando su uso debería estar siempre presente para la toma de decisiones, entre otros decisores: presidentes, gerentes, asesores y técnicos de las instituciones públicas y privadas de las grandes y medianas empresas, para seleccionar la alternativa de mayor consenso, lo que puede afectar o permitir alcanzar el éxito de un determinado proyecto.

La evaluación nació aproximadamente en los años 1960, durante una ola de progresiva política social de intervención estatal. El mercado, con sus mecanismos de nuevo equilibrio no podía proporcionar soluciones a los problemas sociales de cesantía, degradación urbana y desigualdades sociales, lo cual llevó a los programas sociales a la invención de la evaluación como un modo de valorar la eficacia de la acción pública. Luego de ello, el sector público se vio fortalecido para llevar el cambio deseado y, la evaluación fue vista como su “*dispositivo de corrección*” Stame (2006).

Por otra parte Hansson (2006), refiere que la Evaluación fue originalmente concebida como un instrumento para guiar la dirección de políticas, proyectos y programas en los años 60.

Considerando lo expuesto anteriormente, el objetivo planteado en el presente trabajo es la aplicación de la evaluación de proyectos y las técnicas de decisión multicriterio en la determinación del mejor tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuado para obtener pulpa para papel y cartón, tomando como ejemplo hipotético a la empresa

transnacional “Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.”, utilizando la metodología de Monterde (2010a, 2010b), referida al proceso de evaluación de proyectos. En ese marco contextual y programático de investigación se llevó a cabo la aplicación del procedimiento de modelización multicriterio discreta, mejor conocida como técnicas de decisión multicriterio (Mcdm), según el proceso de jerarquización analítica (Analytic Hierarchy Process, AHP), creado por Saaty (1980) y, considerado uno de los métodos discretos de mayor difusión en la actualidad, del cual se han obtenido derivaciones que han sido planteadas por Kang y Stam (1994) y Bryson y Mobolurin (1994).

Y es que, los tiempos actuales son de mayor exigencia caracterizados por la innovación científico-tecnológica lo cual requiere de estrategias, metodologías y métodos cada vez más audaces, racionales, previsivas y visionarias en la manera de gestionar una organización. De ahí que, la evaluación de proyectos y el uso eficiente de las Mcdm, sea una herramienta práctica y eficaz que requiere ir ampliando sus horizontes de uso Contreras y Cloquell (2006). Es de resaltar que las Mcdm ha sido aplicada de manera muy limitada y poco difundida en diversos sectores de la industria forestal venezolana, tal como lo refiere Aragonés *et al.* (2004), pero específicamente no existe aplicación en el área de procesos de materia prima para obtención de pulpa para papel y en particular en la optimización de los mismos; sólo se ha trabajado en lo que corresponde a las condiciones medioambientales de la industria. Por ello, el presente trabajo, está enmarcado y se aplica al sector de la industria de pulpa y papel como ejemplo demostrativo e hipotético dentro de la empresa transnacional “Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.”, dedicada a la fabricación de empaques en papel y cartón para los diferentes sectores económicos de Venezuela y el Caribe. Dicha empresa cuenta en la actualidad, con plantas ubicadas en Caracas, Valencia, Maracay, San Felipe y las divisiones de materia prima, ya sea de productos forestales e ingeniería, focalizado en Acarigua y, fibras recicladas con unidades operacionales en las principales ciudades del país. Este grupo con más de 50 años en Venezuela, ha logrado un sólido crecimiento y desarrollo de sus actividades, llegando a ser líder en el mercado de papeles y cartones para estuches-empaques a partir del año 2003.

Las divisiones del grupo en Venezuela son: división de recursos humanos, División de Molinos, Forestal e Ingeniería, División de Conversión, División de Recursos Materiales y División de Contraloría. En tal sentido y, tomando en cuenta el objetivo del proyecto, se desarrollará un modelo de evaluación para una de las unidades operativas de la División de Molinos, Forestal e Ingeniería. La unidad seleccionada corresponde a la planta de pulpa, asentada en el Molino de San Felipe, estado Yaracuy, que recibe el nombre de Mocarpel (Molinos de Cartón y Papel). Dicha unidad esta adscrita a la parte productiva directa del proceso y se encarga de transformar la madera proveniente de plantaciones forestales en pulpa de alta calidad, para ser usada en el proceso de fabricación de papel.

Finalmente, es importante señalar que la industria de pulpa y papel venezolana, al igual que muchas otras que conforman la industria forestal venezolana, está enfrentando una recesión económica, como consecuencia de la crisis social y política que está atravesando el país y que se ha arreciado en los últimos años. Es por ello, que la viabilidad y pertinencia futura dependerá, entre otros criterios, del acierto en los métodos de toma de decisión, especialmente los referidos con la inversión de nuevos proyectos a fin de mantener el liderazgo de la empresa, maximizar la rentabilidad de las operaciones, satisfacer necesidades de clientes con productos y servicios de calidad superior a precios competitivos, reducción de costos unitarios totales, mantener personal altamente capacitado, maximizar el flujo de fondos de la empresa, preservar el ambiente en armonía con la comunidad. Por tal razón, el uso de técnicas de toma de decisión multicriterio (Mcdm), aplicadas a un problema determinado para seleccionar de diversas alternativas la más acertada a la solución del mismo, parece ser la opción prospectiva más efectiva para lograr la eficacia y eficiencia en la evaluación de un proyecto científico o tecnológico.

## 2. Materiales y Métodos

Como se expuso en la introducción, en el presente trabajo se aplica la metodología de Monterde (2010a, 2010b), referida al proceso de evaluación de proyectos y definida en la ejecución de la evaluación; es decir, la puesta en práctica de técnicas,

a través de los siguientes pasos: *recolección de información; preparación de información para análisis; análisis de datos; interpretación, y; formulación de resultados/hallazgos*, tomando en cuenta los cinco (5) componentes o criterios básicos (CAD), tales como: **1.** Eficacia; **2.** Eficiencia; **3.** Viabilidad; **4.** Pertinencia; **5.** Impacto. Para ello, en la evaluación, se recurrió a la modelización multicriterio discreta con el proceso de jerarquización analítica (AHP), lográndose proyectar de manera prospectiva los procesos tecnológicos para lograr definir desde el punto de vista teórico-práctico cuál es la mejor alternativa de deslignificación en los procesos de obtención de celulosa, pulpa o pasta, tomando como caso de ejemplo la empresa transnacional "Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A."

Se elaboraron tres modelos de estructura jerárquica (factores, parámetros, alternativas), presentándose en el presente trabajo, por razones de espacio, sólo el Modelo 3 el cual fue el mejor. En éste se logró definir 3 alternativas de deslignificación: Alternativa 1 (A1) Pulpa Tipo I (Nº Kappa 10-20); Alternativa 2 (A2) Pulpa Tipo II (Nº Kappa 20-30); Alternativa 3 (A3) Pulpa Tipo III (Nº Kappa > 30).

De ahí, que en el apartado de materiales y métodos sólo se desarrollan las dos primeras fases de la metodología de Monterde (2010a, 2010b) como lo son *recolección de información y preparación de información para análisis*, y en cada una de ellas, como ya se mencionó con anterioridad, se incluyen de manera indirecta los cinco criterios de evaluación que puedan llegar a sucederse en todo el proceso de evaluación de un proyecto para alcanzar el éxito de los objetivos trazados.

### 2.1 Recolección de la Información

#### 2.1.1 Propuesta de desarrollo experimental para la optimización del proceso de obtención de pulpa para papel y cartón, mediante la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados

La aplicación de la metodología de evaluación de proyectos y las técnicas de decisión multicriterio Mcdm, exige que esta etapa de recolección de información en el desarrollo experimental del proceso para la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción, requiera de una visión técnica prospectiva por parte del equipo que conforma la

investigación, a fin de poder tener claros los mínimos pormenores que lo contextualizan, para poder ser lo más asertivos en cada uno de los análisis de los procesos involucrados en la obtención del tamaño de astillas y tiempo de cocción óptimos. De ahí, que se propuso la realización de la presente investigación experimental en el Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño del Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (Cefap) y de la Sección de Ecodiseño del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (Lnspf), de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, ubicado en Mérida, estado Mérida, Venezuela.

El desarrollo del presente proyecto requirió de la participación de cinco (5) expertos en la materia y reunidos en mesas de trabajo, compuestas de la siguiente manera: un experto en el área de pulpa y papel por la Universidad de Los Andes; un asesor externo experto en el área de pulpa y papel; dos expertos por la industria privada y un experto en el área de metodología de técnicas de decisión multicriterio (Mcdm).

El estudio prospectivo señaló, entre otros, que se utilizarán rolas de árboles de *Pinus caribaea* y *Eucaliptus sp*, provenientes de plantaciones ubicadas en las cercanías a la ciudad de Acarigua estado Portuguesa; proporcionadas por la empresa Smurfit Cartón de Venezuela. Como criterio de selección de los árboles, se tomará en cuenta un buen desarrollo del fuste, buen estado fitosanitario, evitando malformaciones y signos de quemaduras principalmente.

En ese sentido, el modelo de procesos prospectivos en la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción, permite a los técnicos participantes el poder considerar todo el sistema integral de múltiples fases requerido en la manufactura industrial de pulpa por la empresa seleccionada, iniciándose los mismos en la preparación y acondicionamiento de la materia prima, la cual se llevará a cabo mediante los siguientes procesos:

#### a. Astillado

- La madera será astillada manualmente, para obtener astillas de tamaño homogéneo, en espesor, longitud y ancho; con la finalidad de evitar introducir variables adicionales.
- Las astillas serán colocadas en mesones al aire libre, con el fin de uniformizar el contenido de

humedad de las mismas con el ambiente, por un tiempo aproximado de 2 días, mezclándose constantemente, para luego ser almacenadas en bolsas plásticas negras.

- Finalmente, se extraerán pequeñas muestras representativas de toda la bolsa, para ser llevadas a la estufa por 24 horas a una temperatura de aproximadamente  $105 \pm 2$  °C, para determinar el contenido de humedad de las astillas, de acuerdo a norma TAPPI-210.

#### b. Actividades de pulpeo.

Para la realización de las cocciones y obtención de pulpas, previamente se fijarán las siguientes condiciones de cocción:

- Materia prima seca y seleccionada según dimensiones de astillas prefijadas (por tamaño homogéneo en las 3 dimensiones, por tamaño según espesor y por tamaño según longitud).
- Alkali activo.
- Hidromódulo.
- Temperatura máxima de cocción.
- Tiempo de cocción a temperatura máxima.
- Velocidad de calentamiento.

Posteriormente se procederá a la determinación de la concentración de los reactivos, de acuerdo a las normas TAPPI, para calcular la cantidad necesaria en las diferentes cocciones del proceso Kraft, determinaciones que se realizarán previamente a cada cocción.

#### c. Proceso de Cocción

Establecidas las condiciones de cocción, se realizarán 10 cocciones con *Pinus caribaea* y 10 cocciones con *Eucaliptus sp*, para la obtención de las pulpas con número Kappa dentro de los rangos previstos. Las cocciones se realizarán en un digestor **M&K** computarizado, utilizando la misma autoclave, para todas las cocciones, siguiendo las instrucciones sugeridas por el equipo:

- Pesar 500 gr secos de astillas de madera para cada cocción, tomando en cuenta el contenido de humedad.
- Cargar el digestor de la siguiente manera: astillas, reactivos y agua.
- Programar las condiciones en el panel de control: temperatura máxima, velocidad de calentamiento y tiempo de cocción.

- Colocar tapa, asegurar tornillos e iniciar proceso.
- Al alcanzar una temperatura de 100 °C, proceder a la liberación o purga de gases, abriendo durante unos segundos la válvula de alivio de gases.
- Finalizado el tiempo de cocción, se procederá a descargar el digestor.

**d. Lavado de las astillas cocidas**

Las astillas cocidas que se obtendrán del proceso de cocción serán descargadas en un recipiente metálico con malla plástica en el fondo, se lavarán con abundante agua fría, para garantizar una buena remoción del licor residual, cuyos restos pudieran causar alteración en la composición del material que se obtendrá.

**e. Tratamiento mecánico de las astillas cocidas**

Las astillas lavadas serán sometidas a un ligero proceso mecánico en el refinador Sprout Waldron, cuya abertura entre discos es de 10 milésimas de pulgada, con el fin de promover la separación de las mismas en fibras individuales.

**f. Tamizado de las pulpas**

La pulpa obtenida será sometida a un proceso de tamizado, el cual se realizará en un tamiz vibratorio plano, tipo Valley con plancha de metal y ranuras de 12 milésimas de pulgada de ancho, con el fin de hacer pasar los haces de fibra más finos, separándolos de los más gruesos, este último denominado rechazo, que se recoge y se pesa para cálculos de rendimiento.

**g. Prensado, desmenuzado y secado de la pulpa**

Luego de tamizada, la pulpa será recogida en una bolsa de tela, con el fin de minimizar las pérdidas, para ser exprimida mediante presión en una prensa mecánica manual y extraer el exceso de agua presente en la pulpa para ser disgregada en un agitador eléctrico y extendida en una mesa al aire libre, para homogeneizar el contenido de humedad. Después de transcurrido un tiempo prudencial, se almacena en bolsas plásticas clip y se toman pequeñas muestras para calcular el contenido de humedad de la pulpa.

**h. Determinaciones Analíticas de las pulpas**

- *Número Kappa*: se determina según norma TAPPI-236 om-85, este análisis químico indicará o permitirá conocer indirectamente la cantidad de lignina residual y el grado de cocción de las pulpas.
- *Rendimiento de las pulpas*: este análisis permitirá determinar la cantidad en porcentajes de la pulpa tamizada que se obtiene al final del proceso de cocción, en relación a la cantidad de astillas utilizadas inicialmente.

**i. Determinación del grado de penetración y difusión de reactivos dentro de las astillas**

En primer lugar, las astillas serán pre-tratadas con vapor, para desalojar el aire presente dentro de las mismas y de esta manera asegurar la penetración y difusión de reactivos sin interferencia del aire presente. Como las astillas son sometidas a un proceso de pulpeo a diferentes tiempos de cocción, ello permitirá medir el grado de penetración y difusión en función del tiempo.

## 2.2 Preparación de información para análisis

Una vez recopilada la información y considerando los procedimientos técnicos requeridos para la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción, se procede a la aplicación en el presente trabajo de la utilización de la metodología de las técnicas de decisión multicriterio (Mcdm), seleccionando el método AHP, cuya aplicación se realizó por medio del uso del Software Expert Choice 2000; en donde las Figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6; exponen de forma básica y detallada los resultados del *Modelo 3*. Se realizó el diseño de tres (3) Modelos de Evaluación: **Modelo 1, Selección del producto forestal (astillas de Pino Caribe) para la elaboración de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit de Venezuela**, con el cual no se pudo trabajar por la incoherencia determinada en el proceso de formulación de los pesos al contrastar de manera interrelacionada factores versus parámetros versus alternativas, dando claramente error técnico en los resultados arrojados en la estructura jerárquica definida en el software Expert Choice 2000; **Modelo 2, Optimización del Proceso para determinar tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para elaboración de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón**

de Venezuela S.A., el cual arrojó resultados más coherentes, pero todavía con algunas fallas para la definición del criterio o factor tecnológico con respecto a las alternativas proyectadas; y por último el *Modelo 3, Optimización del Proceso mediante la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.*, representado por las figuras 1 y 2, el cual resultó ser el definitivo para el desarrollo de la investigación.

La estructura del Modelo 3 exigía igual diseño estructural que los otros dos modelos, en primer lugar, el planteamiento del problema y la asignación de los diferentes niveles de jerarquización (alternativas, criterios y aspectos) para así poder abordar las primeras opiniones y análisis de posibles interacciones con el problema. A fin de disminuir hipotéticamente el número de replicas en laboratorio, por ende, menores esfuerzos, costos y tiempos de investigación, se diseñó el Modelo 3 a partir de la definición aleatoria del fraccionamiento en tres intervalos técnicos según el Número Kappa donde pudieran generarse las posibles ocurrencias de optimización del mejor proceso para la obtención de pulpa y papel. Estas a su vez definen tres alternativas: Alternativa 1 (A1) Pulpa Tipo I (Nº Kappa 10-20); Alternativa 2 (A2) Pulpa Tipo II (Nº Kappa 20-30); Alternativa 3 (A3) Pulpa Tipo III (Nº Kappa > 30).

La aplicación del Expert Choice 2000 en el proceso de selección de la mejor alternativa del Modelo 3, es el resultado del análisis exhaustivo de múltiples comparaciones e interrelaciones en el cual se asigna pesos de importancia a cada factor respecto a cada parámetro que les conforma, y a su vez, respecto a cada una de las tres alternativas propuestas en el modelo (Figura 1). Estos pesos de importancia fueron obtenidos según la opinión y discusión consensuada de los cinco (5) expertos antes definidos. Una vez reunidos en mesas técnicas de trabajo, se llegó a obtener una sola respuesta, debidamente justificada técnica y científicamente, la que finalmente fue introducida en el software para el desarrollo de las matrices. Se tomó muy en cuenta que los niveles de inconsistencia estuvieran dentro o cercanos a los límites recomendados por Saaty (1980), lo cual es una garantía técnica de la validez de la aplicación de las técnicas Mcdm en cada una de las preguntas consensuadas por parte

de los expertos de los distintos procesos definidos en el modelo desarrollado en las figuras 3, 4, 5, y 6.

### 3. Resultados y discusión

Una vez obtenidos los resultados de la investigación, se procedió igualmente a la aplicación de la metodología expuesta por Monterde (2010a; 2010b), referida a los conceptos generales sobre evaluación, pero en este apartado de resultados y discusión se hace énfasis en las 3 fases restantes, definidas como: *análisis de datos; interpretación; y formulación de resultados/hallazgos*. Además, se considera importante analizar parte de la realidad actual y ciertas características de algunos procesos que definen a la Industria de Pulpa y Papel Venezolana, lo cual va a permitir, una vez evaluadas, tener una aproximación técnica con relación a la temática del uso de los métodos de toma de decisión Mcdm a este sector industrial.

#### 3.1 Análisis realístico del Proyecto

En Venezuela existe una gran diversidad de especies forestales que se pueden utilizar para la obtención de pulpas para la fabricación de papel y cartón, que cumplan con las necesidades y demandas del país; además de diversos procesos, tales como mecánicos, semi-químicos y químicos que se pueden implementar, dependiendo de las características de cada especie para la obtención de las pulpas. El proceso que se llevará a cabo para la obtención de la pulpa requerida para la ejecución hipotética de este proyecto es el químico *Kraft*. Es el proceso de fabricación de celulosa/pasta para papel más extendido e importante; actualmente más de la mitad de la producción mundial de pasta se fabrica mediante este método. Este procedimiento deriva del proceso a la sosa, sus rendimientos varían entre un 40 y 60% y ventajosamente requiere tiempos de cocción bajos, además de ser poco selectivo en cuanto a la madera utilizada, ya que se pueden emplear tanto leñosas como maderas blandas con contenidos importantes residuales.

El desarrollo del proceso Kraft o al sulfato se atribuye, usualmente, a C. F. Dahl; ya que en su esfuerzo por encontrar un sustituto para el costoso carbonato de sodio (soda ash), experimentó que con la adición de sulfato de sodio (salt cake) a la

caldera de recuperación podía reponer las pérdidas de productos químicos ocurridas durante las operaciones de cocción a la sosa; ya que a través de las reacciones, químicamente el sulfato es reducido a sulfuro en la caldera, forma en la cual es introducido en el licor del sistema. Dahl observó que el sulfuro aceleraba significativamente la deslignificación y producía una pulpa mucho más resistente; proceso por el cual obtuvo una patente en 1884 Smook (1990).

El agente químico de pulpeo es una mezcla de NaOH y Na<sub>2</sub>S. La resistencia de la pasta "Kraft", que en el idioma alemán significa resistencia, es la característica principal de la cual deriva su nombre. El sulfuro acelera la reacción y se forma por la reducción de sulfato de sodio adicionando por sustitución el álcali perdido durante el proceso. Normalmente los digestores operan en discontinuo a temperaturas de 160 a 180 °C con tiempos de residencia entre 4 y 6 horas. También se encuentran digestores en continuo que operan entre 190 y 200 °C con tiempos de cocción de 15 a 30 min. Actualmente, se busca reducir las altas emisiones de compuestos azufrados generadas en las fábricas de pastas, así como las de SO<sub>x</sub> de los gases de combustión y de compuestos que contienen azufre reducido (RS) que tienen sus orígenes en distintas etapas de fabricación de la pasta TDR (2010).

### 3.1.1 Etapas de la deslignificación

Se diferencian tres etapas:

- **Etapa Inicial.** Tiene lugar rápidamente a temperaturas menores al final de la digestión. La velocidad de deslignificación es controlada por la difusión, no por la reacción química. Es más rápida que la etapa principal. No es selectiva hacia la lignina. Puede disolverse 20 a 25 % de la lignina. Esto incluye fragmentos de lignina de un tamaño que le permite difundir en la pared celular.
- **Etapa Principal.** Se inicia a temperaturas superiores a 140 °C cuando la velocidad de deslignificación se incrementa notoriamente. Depende de las condiciones de la etapa inicial. La disolución se inicia en la pared fibrosa y progresivamente se extiende a la lámina media. La velocidad se incrementa con la concentración de NaOH, Na<sub>2</sub>S y temperatura y se reduce cuando la concentración de lignina en el licor es alta

sobre el final de la etapa. Hay mayor selectividad de remoción hacia la lignina.

- **Etapa Residual.** Se inicia cuando el contenido de lignina es aproximadamente un 10 % del nivel original. Consume mayor cantidad de álcali que la etapa principal. La velocidad es claramente menor en relación a la de la etapa principal. La falta de álcali puede conducir a reacciones de condensación de lignina, por lo que debe existir un mínimo de presencia de álcali. No es selectiva hacia la lignina.

### 3.1.2 Variables del proceso Kraft consideradas en el Proyecto

#### 3.1.2.1 Variables de la materia prima

- Materia prima, especie de madera y estado de la madera.** Existe una notoria diferencia entre coníferas y latifoliadas. Estas últimas, con menos lignina y mayor reactividad de lignina, requieren menores cargas de álcali y menores tiempos y temperaturas de digestión. Pueden existir diferencias entre maderas dadas por su facilidad de impregnación. Por ejemplo, madera de mayor edad podrá tener mayor proporción de duramen/albura. Puede tener efecto de pérdida de rendimiento, el deterioro biológico sufrido por la madera.
- Tamaño y distribución de tamaño de astillas.** Una vez establecidos los caminos líquidos, la difusión es similar en todas las direcciones de la madera. Por lo tanto, el espesor es la dimensión crítica de la astilla. Reducción del espesor implica: mejora de la deslignificación; reducción de los rechazos. Astillas muy pequeñas (menos de 3-4 mm) producen pérdida de rendimiento y de resistencia de la pulpa. Debe tenerse en cuenta que menor espesor implica menor largo, según las posibilidades de una astilladora. En sus extremos, la astilla es dañada, dando lugar a pérdidas de resistencia y rendimiento.

#### 3.1.2.2 Variables de proceso

- Carga alcalina (AA).** La carga depende de la materia prima pero además del nivel de deslignificación deseado. Puede elevarse la carga alcalina para obtener menor número kappa, pero esto conduce a un menor rendimiento. Debe asegurarse un exceso al final de la digestión para evitar la re-precipitación de la lignina.

- b. **Ciclo térmico (Temperatura máxima).** El factor H basado en la aparente reacción de orden cero de la fase principal de la deslignificación, es usado para determinar el momento de detener la digestión. A mayor temperatura máxima, mayor velocidad de deslignificación, pero mayor pérdida de rendimiento. A 180°C, se produce una excesiva pérdida de rendimiento y de resistencia de la pulpa. La tendencia actual es bajar la temperatura de digestión.
- c. **Sulfidez.** Sulfidez superior a 20 % para latifoliadas y 30 % para coníferas, acelera la velocidad de deslignificación, pero aumenta las dificultades para el control de olores (emisión de los denominados SH<sub>2</sub> y mercaptanos TRS).
- d. **Antraquinona y polisulfuros.** Su uso depende de los costos. En un proceso kraft, puede recurrirse a ambos, ya que son compatibles.
- e. **Relación de licor.** Debe ocuparse todo el volumen del digestor, pero debe ser la mínima necesaria, para evitar la dilución del álcali que reduce la velocidad de deslignificación (FIQUS, 2010).

En investigaciones sobre análisis del mecanismo y velocidad de impregnación alcalina de la madera en diferentes condiciones, como varias combinaciones de tiempos, temperatura y concentración del licor de impregnación, realizadas por Zanuttini *et al.* (2000); se determinaron perfiles de concentración y contenido de álcali en la madera, así como también contenido de líquido para la impregnación en el sentido tangencial, además del perfil del contenido de acetilos, debido a que la deacetilación es la reacción más importante y responsable principal del consumo de reactivos. Verificándose de esta manera, que tanto el patrón como la velocidad de impregnación son similares en ambos sentidos transversales y, que la velocidad de avance de la impregnación puede determinarse considerando algún punto característico de los perfiles y de esa manera, los resultados pueden ser usados para predecir la velocidad de impregnación de un chip industrial.

Paz *et al.* (2004), realizaron estudios sobre las variables más importantes en la obtención de pulpas semi-químicas, mediante el Proceso a la Sosa Fría a partir de madera de *Eucalyptus globulus* "Labbill". En primer término se determinó el grado de penetración en astillas de diferentes tamaños, va-

riando la concentración de reactivos, temperatura y tiempo. Posteriormente se prepararon pulpas con las condiciones óptimas, previamente determinadas. Tratando de reducir el tiempo en la etapa química, ensayaron pre-tratamientos: presión y vacío-presión. Se obtuvieron pulpas con rendimientos entre 84 y 88 %, longitud de ruptura entre 6,5 y 7,3 Km, factor de rasgado entre 75,3 y 79,6; factor de explosión entre 33,1 y 39,1 y blancuras entre 50 y 56 °GE.

Por su parte García *et al.* (2008), estudiaron el efecto producido sobre el rendimiento y las propiedades de la pulpa, de astillas de eucalipto tratadas con disolventes orgánicos antes del pulpeado Kraft. Las astillas de madera de *Eucalyptus grandis* se sometieron a un pre-tratamiento durante 30 minutos, con diferentes disolventes orgánicos, entre ellos: etanol, metanol y acetona al 50 % v/v. Posteriormente se realizó la cocción kraft de las diferentes muestras de astillas tratadas con los disolventes orgánicos. Estas pulpas se compararon en rendimiento, propiedades y blanqueabilidad, con una pulpa kraft obtenida con las mismas condiciones que las anteriores pero sin pre-tratamiento. Los resultados mostraron unos rendimientos similares en todas las pulpas, sin tratar y pre-tratadas. Las pulpas pre-tratadas con alcoholes (etanol y metanol) muestran mejores valores de índice kappa y viscosidad a la sin tratar. Los peores valores de índice Kappa y viscosidad se observan en la pulpa que fue obtenida de la materia prima tratada con acetona. En cuanto a la blanqueabilidad, las pastas obtenidas mediante pre-tratamiento con etanol, mostraron la mejor aptitud al blanqueo para una secuencia de blanqueo prefijada, presentando mayor blancura ISO, mejor viscosidad y menor reversión de la blancura. El pre-tratamiento con disolventes orgánicos, a excepción de la acetona, mejora el rendimiento y las propiedades de las pastas obtenidas, dando los mejores resultados la pasta cuyas astillas fueron pre-tratadas con etanol.

En otras investigaciones realizadas se modela la impregnación alcalina en base a un balance de masa que considera las principales reacciones químicas y los cambios en la capacidad de transporte de la madera bajo diferentes condiciones. El modelo desarrollado es unidireccional, considera la madera saturada en agua como material de inicio y las concentraciones locales de las principales especies iónicas: sodio, hidroxilo, acetato y los io-



nes fijos en la madera, es decir, los grupos ácidos. Para el balance, el potencial electroquímico es tomado en cuenta y el coeficiente de difusión en solución es derivado de la movilidad iónica (ecuación de Nernst-Einstein). El sistema de ecuaciones se resuelve numéricamente usando el programa gPROMS. El modelo ajusta aceptablemente los perfiles experimentales de las especies, permitiendo analizar los efectos de la concentración alcalina y la temperatura sobre el dinamismo de estos perfiles y es útil para predecir el tiempo necesario para la impregnación en diferentes condiciones.

Entre las aplicaciones del modelo gPROMS se encontró que permite analizar el efecto de las principales variables del proceso, tales como la concentración del álcali, temperatura, tiempo y espesor de la astilla. El modelo permite determinar para cada condición de impregnación el grado de impregnación según distribución de espesores de chip. Otras especies químicas que están presentes en el pulpeado Kraft, como sulfuro de sodio, pueden ser incluidas, de manera de disponer de un modelo más riguroso del proceso Inalbon *et al.*(2006).

Por consiguiente, la madera debe astillarse al tamaño óptimo para la digestión. El tamaño de la astilla es un factor importante en la preparación de la madera; ya que las astillas que son demasiado pequeñas, resultarán sobre-cocidas y las que son muy grandes pueden no recibir cocimiento alguno en el centro. La experiencia de fábrica determina el tamaño óptimo para la digestión en cada caso particular de astillas de madera. Para producir una pulpa uniforme se necesitan astillas de un tamaño también uniforme Libby (1969).

### 3.2 Análisis e interpretación de datos del Proyecto

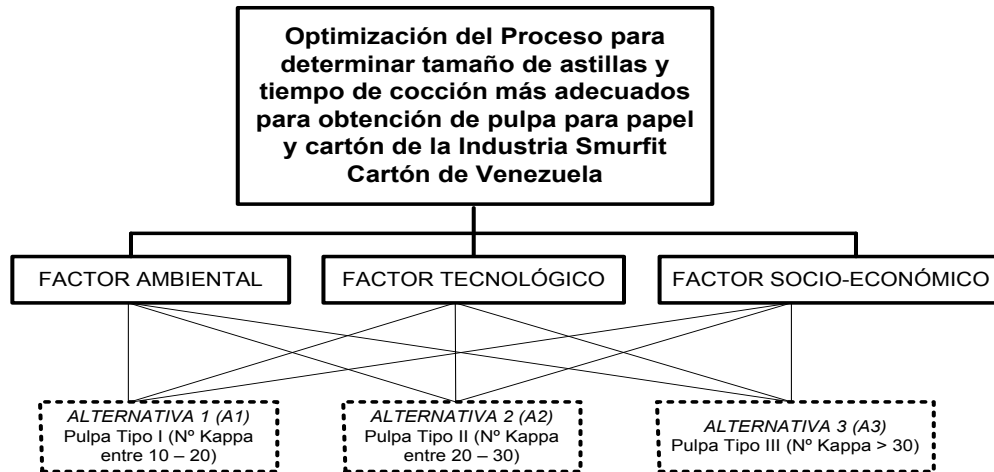
Considerando lo antes expuesto como base de información necesaria para la construcción del Modelo de Evaluación del Proyecto y, a la vez poder demostrar la importancia de la aplicación de los métodos de Mcdm, en el área en estudio; se procedió con la siguiente etapa correspondiente al diseño del Modelo. En ese sentido, como se expuso en Materiales y Métodos, se definieron 3 problemas de estudio con ciertos niveles de jerarquización comunes, **Modelo 1: Selección del producto forestal (astillas de Pino Caribe) para la elaboración de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit de**

**Venezuela; Modelo 2: Optimización del Proceso para determinar tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para elaboración de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.; Modelo 3: Optimización del Proceso mediante la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.**, con los debidos ajustes según análisis más detallado por parte de los expertos en sus respectivos criterios, aspectos y alternativas, representado en las Figuras 1 y 2.

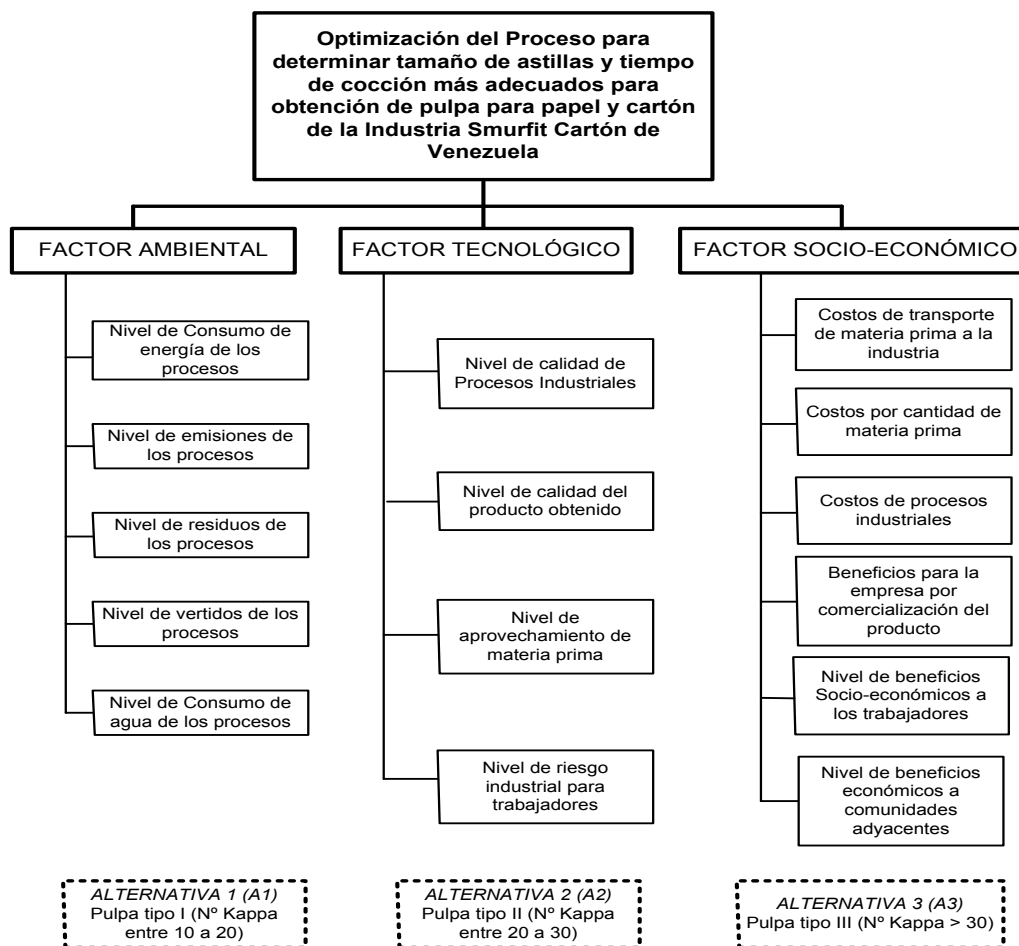
#### 3.2.1 Modelo 1: Selección del producto forestal (astillas de Pino caribe) para la elaboración de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit de Venezuela

El Modelo 1 fue diseñado tomando como datos de entrada para la generación de la matriz de trabajo, toda la información fundamental preparada en la formulación del proyecto, en el cual se hace referencia de la realidad actual sobre las diferentes actividades y procesos industriales llevados a cabo, para la transformación de la materia prima (madera) en pulpa para la fabricación de papel.

A partir de la información recabada y posterior a su análisis y discusión por parte de los expertos, fue asignado el problema de estudio denominado: *Selección del producto forestal (astillas de Pino Caribe) para la elaboración de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit de Venezuela*, identificado como **Modelo 1**; seguido por la selección de datos catalogados como entradas para la construcción del esquema de decisión jerárquico en niveles, a partir de la descomposición de los diferentes criterios, asignados como factores ambientales, tecnológicos y económicos; que pasan a conformar el problema de decisión. Luego, tomando en cuenta el peso de importancia o preferencia del primer criterio, se comparan con los demás criterios del mismo nivel, y a su vez, cada uno de éstos se comparan con los elementos que conforman a cada uno de los atributos o aspectos en los niveles inferiores y, estos últimos con las diferentes alternativas planteadas: Alternativa 1 (A1), Astilla por longitud a 30 minutos de cocción a  $T_{\text{temperatura}}$  máxima; Alternativa 2 (A2), Astilla por longitud a 1 hora de cocción a  $T_{\text{temperatura}}$  máxima; Alternativa 3 (A3), Astilla por espesor a 30 minutos de cocción a  $T_{\text{temperatura}}$  máxima y Alternativa 4 (A4), Astilla por espesor a 30 minutos de



**Figura 1.** Modelo 3 básico, para la Optimización del Proceso para determinar tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A., utilizando las técnicas de decisión multicriterio (Mcdm). Fuente: elaboración propia.



**Figura 2.** Modelo 3 detallado, con sus factores (criterios)/aspectos requeridos para la Optimización del Proceso para determinar tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados y posterior obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A., utilizando las técnicas de decisión multicriterio (Mcdm). Fuente: elaboración propia.

cocción a  $T_{\text{Temperatura}}$  máxima; los cuales están todos y cada uno conformados de manera jerárquica.

El Modelo 1 anteriormente descrito, no suministró resultados técnicamente coherentes en las alternativas proyectadas para la solución del problema planteado; por lo que fue necesario el diseño del Modelo 2, el cual proporcionó información técnica-comparativa más coherente y acorde a la situación real de la investigación para la realización de la evaluación del proyecto. Sin embargo, una vez obtenidos los resultados no fue posible determinar con certeza la alternativa más adecuada con respecto a los 3 criterios tomados en cuenta para la solución del problema, debido a errores cometidos en la asignación de los datos de entrada catalogados como aspectos correspondientes al criterio definido como factor tecnológico y su relación con las alternativas proyectadas. Razón por la cual, se llevó a cabo el diseño del Modelo 3, estructurado de una manera mucho más consistente, como resultado de un análisis más detallado por parte de los expertos, tomando en consideración los 2 modelos anteriormente rechazados para mejorar la modelización y obtener de esta manera resultados técnico-comparativos adaptados a la actual situación del sector y proponer una solución eficiente para el problema planteado en la investigación.

### **3.2.2 Modelo 2: Optimización del Proceso para determinar tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para elaboración de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.**

La presente modelización fue construida y diseñada utilizando las mismas técnicas que en el Modelo 1, anteriormente descrito, tomando en consideración otras variables y un mayor asesoramiento por parte de los expertos, para la formulación de las preguntas necesarias para la correcta introducción de información en la matriz de trabajo del programa. Por lo tanto, este segundo Modelo 2 surge como consecuencia de la anulación o rechazo del Modelo 1, el cual no cumplió con las exigencias técnicas y comparativas para la solución del problema en la investigación. No obstante, una vez obtenidos los resultados en el Modelo 2, se pudo apreciar una mejor respuesta técnica-comparativa al desarrollo del programa; pero aún, con cierto grado de incongruencia en las alternativas proyectadas en relación a los aspectos planteados en el criterio defi-

nido como factor tecnológico, con respecto a cada una de las alternativas para la solución del problema. Razón por la cual, también fue totalmente rechazado y tomado como referencia para la formulación de un nuevo Modelo 3, definitivo.

### **3.2.3 Modelo 3: Optimización del Proceso mediante la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.**

Al igual que los Modelos 1 y 2, la presente modelización, representada en las figuras 1 y 2, fue construida y diseñada de la misma manera que las anteriores, pero haciendo uso de otras variables en consideración y tomando en cuenta un mayor asesoramiento de los expertos, para no incurrir de nuevo en errores generados por la introducción incorrecta de información en la matriz de trabajo del programa. Por lo tanto, este Modelo 3 surge como consecuencia de la anulación o rechazo de los Modelos 1 y 2, los cuales no cumplieron con las exigencias técnicas y comparativas para la solución del problema en la investigación. Es de resaltar que una vez introducidas las entradas y las respectivas preguntas formuladas para comparar pesos de importancia entre criterios, parámetros y alternativas (Cuadros 1 y 2), permitieron generar las valoraciones en cada una de las matrices planteadas en el software Expert Choise 2000, donde se pudo apreciar sin duda alguna, la conformidad de los resultados arrojados por el programa y sus respectivos valores de inconsistencia, admitidos dentro o cercanos a los límites recomendados por Saaty (1980), resaltando la validez de la aplicación de las técnicas Mcdm en cada una de las preguntas consensuadas por parte de los expertos de los distintos procesos definidos en el modelo desarrollado en la figuras 3, 4 y 5, donde se obtuvieron las siguientes inconsistencias: para los criterios de importancia entre alternativas (0,06); para los criterios de influencia del factor ambiental (0,07); para los criterios de influencia del factor tecnológico (0,07) y para los criterios de influencia del factor socio-económico (0,07).

**Cuadro 1.** Definición de los cuestionamientos a partir de las técnicas Mcdm, que interrelacionan entre sí alternativas (A1; A2 y A3), criterios/Factores (ambiental; tecnológico y socio económico) y sus aspectos, para la evaluación que permita la optimización del proceso para determinar el tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.

CRITERIOS / FACTORES					
FACTOR AMBIENTAL		FACTOR TECNOLÓGICO		FACTOR SOCIO-ECONÓMICO	
ASPECTO	PREGUNTA	ASPECTO	PREGUNTA	ASPECTO	PREGUNTA
1	¿En la Alternativa (A1; A2; A3) el nivel de consumo de energía de los procesos tiene más impacto ambiental negativo que el nivel en el aspecto (Asp: emisiones; residuos; vertidos y consumo de agua)?	1	¿En la Alternativa (A1; A2; A3) el nivel de calidad de procesos industriales desde el punto de vista tecnológico es más importante que el nivel en el aspecto (Asp: calidad del producto obtenido; aprovechamiento de materia prima y riesgo industrial para trabajadores)?	1	¿En la Alternativa (A1; A2; A3) los costos de transporte de materia prima a la industria son más importantes desde el punto de vista socio-económico respecto a los aspectos (Asp: costos por cantidad de materia prima; costos de procesos industriales; beneficios para la empresa por comercialización del producto; nivel de beneficios socio-económicos a los trabajadores y nivel de beneficios económicos a comunidades adyacentes)?
2	¿En la Alternativa (A1; A2; A3) el nivel de emisiones de los procesos tiene más impacto ambiental negativo que el nivel en el aspecto (Asp: consumo de energía; residuos; vertidos y consumo de agua)?	2	¿En la Alternativa (A1; A2; A3) el nivel de calidad del producto obtenido desde el punto de vista tecnológico es más importante que el nivel en el aspecto (Asp: calidad de procesos industriales; aprovechamiento de materia prima y riesgo industrial para trabajadores)?	2	¿En la Alternativa (A1; A2; A3) los costos por cantidad de materia prima son más importantes desde el punto de vista socio-económico respecto a los aspectos (Asp: costos de transporte de materia prima a la industria; costos de procesos industriales; beneficios para la empresa por comercialización del producto; nivel de beneficios socio-económicos a los trabajadores y nivel de beneficios económicos a comunidades adyacentes)?
3,4...n	IDEM a la pregunta 1 y 2 sólo cambia la comparación de pesos entre aspectos.	3,4...n	IDEM a la pregunta 1 y 2 sólo cambia la comparación de pesos entre aspectos.	3,4...n	IDEM a la pregunta 1 y 2 sólo cambia la comparación de pesos entre aspectos.

### 3.3 Formulación de resultados/hallazgos

#### 3.3.1 Resultados globales del Modelo 3

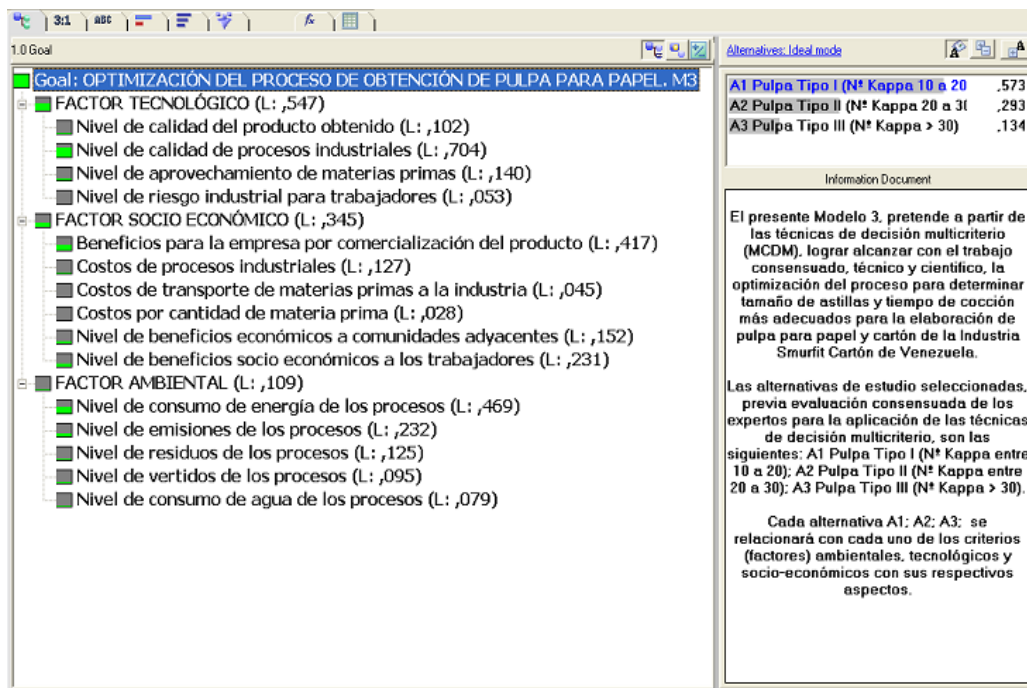
Según las figuras 3, 4, 5, y 6 respectivamente; se pueden apreciar los diferentes resultados obtenidos en el Modelo 3: *Optimización del Proceso mediante la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.*, desarrollado mediante la aplicación de técnicas Mcdm, a través del método AHP, mediante el uso del software Expert Choise 2000.

La figura 3, representa de manera general el modelo desarrollado en el software Expert Choice 2000, de la técnica de Mcdm, aplicada a la solución

del problema Optimización del Proceso de obtención de pulpa para papel. M3; en el cual el objetivo trazado es seleccionar la alternativa de mayor consenso de diferentes planteamientos propuestos, tales como: Alternativa 1 (A1) Pulpa Tipo I (Nº Kappa 10-20) con una puntuación de 0,573; Alternativa 2 (A2) Pulpa Tipo II (Nº Kappa 20-30) con puntuación de 0,293 y la Alternativa 3 (A3) Pulpa Tipo III (Nº Kappa > 30) con puntuación de 0,134. Se puede apreciar que es la primera alternativa (A1), la que obtuvo la mayor puntuación (0,573) producto del consenso y valoración de cada uno de los cinco expertos involucrados en la presente investigación. Ésta selección permite mejorar el proceso de obtención de pulpa para la Industria Papelera Venezolana; así como, reducir costos de producción e

**Cuadro 2.** Condiciones de cocción fijadas para cada una de las posibles alternativas obtenidas a partir de las técnicas de Mcdm, para la evaluación que permita la optimización del proceso mediante la determinación del tamaño de astillas y tiempo de cocción más adecuados para obtención de pulpa para papel y cartón de la Industria Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.

<b>ALTERNATIVA 1 (A1)</b> <b>PULPA TIPO I</b> <b>Nº KAPPA ENTRE 10 - 20</b>	<b>ALTERNATIVA 2 (A2)</b> <b>PULPA TIPO II</b> <b>Nº KAPPA ENTRE 20 - 30</b>	<b>ALTERNATIVA 3 (A3)</b> <b>PULPA TIPO III</b> <b>Nº KAPPA &gt; 30</b>
<p><b>Nº KAPPA:</b> nos indica o permite conocer indirectamente la cantidad de lignina residual y el grado de cocción de la pulpa. Donde: <b>1. Nº KAPPA</b> bajo, mayor grado de deslignificación; <b>2. Nº KAPPA</b> alto, menor grado de deslignificación.</p>		
<p>Pulpas con excelentes propiedades, que pueden utilizarse individualmente o en mezclas, blanqueables, de color promedio, con propiedades de resistencia por encima del promedio y rendimientos promedios.</p> <p><b>Condiciones de Cocción</b>  <b>Materia prima:</b> selección homogénea de astillas según: <b>largo, espesor</b> y <b>ancho</b>, óptimos.  <b>Alcalí Activo:</b> 18% como Na<sub>2</sub>O  <b>Sulfidez:</b> 25%  <b>Temperatura máxima:</b> 170°C  <b>Hidromódulo:</b> 1:5  <b>Tiempo a temperatura máxima:</b> 45 min.</p>	<p>Pulpas con propiedades medianamente excelentes, pueden utilizarse individualmente o en mezclas, blanqueables, con propiedades de resistencia en el promedio y rendimientos por encima del promedio.</p> <p><b>Condiciones de Cocción</b>  <b>Materia prima:</b> selección tomando en cuenta tamaño por <b>espesor</b> de astillas.  <b>Alcalí Activo:</b> 18% como Na<sub>2</sub>O  <b>Sulfidez:</b> 25%  <b>Temperatura máxima:</b> 170°C  <b>Hidromódulo:</b> 1:5  <b>Tiempo a temperatura máxima:</b> 30 min.</p>	<p>Pulpas con propiedades intermedias a bajas, aunque pueden ser utilizadas en mezclas; más difíciles de blanquear, de color oscuro, debido al mayor contenido de lignina; con propiedades de resistencia bajas, pero rendimientos aceptables.</p> <p><b>Condiciones de Cocción</b>  <b>Materia prima:</b> selección tomando en cuenta tamaño por <b>longitud</b> de astillas.  <b>Alcalí Activo:</b> 18% como Na<sub>2</sub>O  <b>Sulfidez:</b> 25%  <b>Temperatura máxima:</b> 170°C  <b>Hidromódulo:</b> 1:5  <b>Tiempo a temperatura máxima:</b> 60 min.</p>



**Figura 3.** Vista general del Modelo 3 desarrollado en el software Expert Choice de técnicas de decisión multicriterio (Mcdm), donde se presentan los diferentes valores obtenidos, para la selección de la mejor alternativa para la optimización del proceso de obtención de pulpa para papel y cartón, definido según los expertos, de los criterios y aspectos más importantes de cada uno de ellos, con sus respectivos pesos de importancia.

incrementar los ingresos económicos; pero lo más importante, es que sumado a los aspectos antes dichos, a través de las técnicas de Mcdm, se abre una nueva perspectiva tecnológica para esta industria, al poder llegar a definir procesos previamente estudiados detalladamente con la reunión consensuada de expertos en el área y ser más asertivos a la hora de solicitar estudios experimentales a los laboratorios especializados en el país, lo cual repercute en tiempo y dinero para la toma de decisiones oportunas por parte, en este caso, de la transnacional "Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.", y su División de Molinos, Forestal e Ingeniería, División de Conversión y División de Recursos Materiales.

Para alcanzar estos resultados, se involucraron una serie de criterios definidos como factores, entre ellos: factor ambiental, factor tecnológico y factor socio-económico; cada uno de los cuales conformado por una serie de aspectos, asignados según los expertos en base a los pesos de importancia que cada uno de ellos debe arrojar según su influencia en los procesos desarrollados en la investigación. Éstos factores son catalogados como criterios de un mismo nivel y que se comparan entre sí, para determinar su importancia respecto a los valores obtenidos y en los cuales ha prevalecido, como se puede apreciar en la figura 3, el factor tecnológico con una puntuación parcial de 0,547, frente al factor socio-económico con 0,345 y el factor ambiental con 0,109.

Más detalladamente, la etapa de selección de alternativas para la optimización del proceso de obtención de pulpa para papel M3, utilizando las técnicas de Mcdm, a través del Método AHP, aplicado mediante el uso del Software Expert Choise 2000; la cual, se ilustra en la figura 3, permitió elegir sobre un total de tres (3) alternativas (Pulpa Tipo I; Pulpa Tipo II y Pulpa Tipo III), la alternativa identificada con el número 1 (A1), con una puntuación mayor de 0,573; cuyo resultado corresponde a un análisis técnico-comparativo de entradas y salidas, entre los tres niveles de jerarquías (alternativas, criterios y aspectos), modificando entradas para obtener la salida deseada para la solución del problema.

La Alternativa 1 (A1) identificada como Pulpa Tipo I (Nº Kappa 10-20), parece ser la opción con las especificaciones y condiciones de cocción más adecuadas para garantizar su aplicación en: reformular la clasificación de astillas tomando en

cuenta sus 3 dimensiones (espesor, longitud y ancho) para la obtención de un tamaño homogéneo; reducción en el consumo de químicos; mejorar la calidad del producto obtenido; maximizar el uso y aprovechamiento de energía en planta de pulpa; suministrar pulpas químicas de acuerdo a los requerimientos de formulación del molino, buscando maximizar la rentabilidad de la empresa tomando en consideración las limitaciones y las capacidades propias de las instalaciones existentes.

La Alternativa 2 (A2) asignada como Pulpa Tipo II (Nº Kappa 20-30), después del proceso de cocción y con respecto a la anterior; es la segunda a ser seleccionada de acuerdo a su valor alcanzado de 0,293 en el modelo; no dejando de ser una buena opción para la empresa; debido a que garantiza su aplicación en: reformular la clasificación de astillas de acuerdo al tamaño según el espesor y por consiguiente, reducción en los tiempos de cocción; reducción en el consumo de químicos; reducción en el consumo de energía en planta de pulpa; buena calidad del producto obtenido; suministrar pulpas químicas cumpliendo con los requerimientos de formulación de la industria.

Y por último se encuentra la Alternativa 3 (A3) definida como Pulpa Tipo III (Nº Kappa > 30), con una valoración de 0,134; muy por debajo con respecto a la alternativa más relevante, lo que indica que está muy lejos de alcanzar los objetivos planteados.

### **3.3.2 Discusión del proceso de selección de pesos de los factores según cada alternativa**

Se pretende, racionalizar procesos y costos de investigación a partir de la pre-visualización técnica de cada uno de los cinco expertos en la realización del proceso de pulpificación de laboratorio, para posteriormente seleccionar la o las mejores alternativas que permitan mejorar la calidad en los procesos industriales de obtención de pulpa para la industria papelera venezolana; así como, reducir costos de producción e incrementar los ingresos económicos.

#### **3.3.2.1 Resultados del análisis prospectivo del Factor Ambiental**

Para la determinación del criterio definido como influencia del Factor Ambiental en la optimización del proceso de obtención de pulpa para papel M3, figura 4, se proyectaron tres (3) Alternativas; en las

cuales, fueron considerados para la selección de la más favorable, una serie de aspectos de evaluación con tendencia a la generación de cuales pudieran causar menores impactos negativos en cada una de las etapas llevadas a cabo en el proceso de obtención de pulpa para la fabricación de papel. Entre ellos se encuentran: nivel de consumo de energía de los procesos; nivel de emisiones de los procesos; nivel de residuos de los procesos; nivel de vertidos de los procesos y nivel de consumo de agua de los procesos.

La Industria de pulpa y papel se encuentra entre las mayores consumidoras de agua fresca y energía, lo que trae como consecuencia también, que sea una de las industrias que mayor volumen de residuales acuosos genera y en la que pueden identificarse numerosas oportunidades de recuperación de recursos acuosos y energéticos. La latencia de esta situación en el contexto internacional a pesar de las tantas investigaciones realizadas en el área, arroja como resultado un impacto tecnológico, ambiental y social negativo, lo cual evidencia la necesidad de enfrentar la problemática ambiental en el sentido de prevenir la generación del residual y no de tratarlo una vez que ya se ha generado Noureldin (1999).

Los aspectos que tuvieron mayor peso en el criterio ambiental han sido el nivel de consumo de energía (0,469) y el nivel de emisiones de los procesos (0,232), seguidos por el nivel de residuos de los procesos (0,125); nivel de vertidos de los procesos (0,095), ubicando en último lugar el nivel de consumo de agua (0,079); que al igual que el consumo de energía es uno de los principales en la producción de celulosa y papel, por ejemplo: una fábrica de blanqueo de pasta Kraft con una producción de 1.000 TN/día, consume más de 150 millones de litros de agua al día; y una fábrica de papel aún más (BVSDE, 2010); pero con el uso del sistema de circuito cerrado, se recicla y recuperan aguas de desecho del proceso de fabricación de pulpa y del proceso de blanqueo, procurando eliminar las descargas al medio acuático, reciclar y reutilizar en lo posible los residuos sólidos y líquidos de los procesos y reducir las emisiones gaseosas al nivel más bajo posible; por consiguiente disminuye el impacto causado por este aspecto.

Las fuentes de contaminación en la industria de pulpa y papel, están constituidas por *Emisiones al aire* consideradas nocivas tales como: dióxido de

azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), partículas (particulates), compuestos volátiles orgánicos (VOCs), agentes contaminantes peligrosos del aire (HAPs) y compuestos reducidos de azufre (TRS). *Contaminación a los efluentes líquidos*; en donde los parámetros más importantes para describir la calidad del efluente acuoso son: los sólidos suspendidos totales (TSS), la demanda bioquímica del oxígeno (BOD), la demanda química de oxígeno (COD) y los halógenos orgánicos absorbibles (AOX). *Y los residuos sólidos*, que generan cinco tipos de basura sólida: basura de la playa madera; lodos de las aguas residuales; cenizas de las calderas de recuperación y de potencia; residuos sólidos del sistema de recuperación y deshechos generales de la fábrica.

### 3.3.2.1.1 ALTERNATIVA 1 (A1) Pulpa Tipo I con N° Kappa entre 10 a 20 y ALTERNATIVA 3 (A3) Pulpa Tipo III con N° Kappa > 30

Según la A1 y A3 el nivel de consumo de energía tiene más impacto ambiental negativo seguido por el nivel de emisiones en los procesos: La valoración es de muy fuerte según la escala del AHP de Saaty (1980), ya que el tiempo de cocción estimado para (A1) y (A3) es de 45 y 60 minutos, respectivamente en el proceso industrial.

Lo anterior se sustenta sobre la base técnica de que la empresa Smurfit Cartón de Venezuela, en su molino ubicado en San Felipe estado Yaracuy, es abastecido de energía eléctrica a partir de su conexión a la red nacional de electricidad, especialmente para todo el funcionamiento de las áreas administrativas, infraestructuras de seguridad e iluminación del complejo industrial, entre otros. El suministro eléctrico para los distintos procesos industriales de manufactura de celulosa para papel y cartón, tal como se apreció en las visitas de campo por los autores y expuestas por Peña (1980) y Meyers (1993); es a base de procesos de reutilización de residuos industriales propios de la empresa, como basura de la playa madera; astillas rechazadas; lodos de las aguas residuales; cenizas de las calderas de recuperación y de potencia; residuos sólidos del sistema de recuperación y deshechos generales de la fábrica.

Se debe resaltar que, en la fase de generación de electricidad la energía hidroeléctrica es una energía amigable con el ambiente, y sólo fue en la construcción de la represa que se generaron

los mayores impactos negativos a los ecosistemas del vaso hidrológico y del paisaje. Mientras que en la producción de electricidad termoeléctrica, se producen no sólo impactos al medio circundante (emisiones, vertidos de aguas residuales a altas temperaturas, entre otros) y al paisaje por la infraestructura construida, sino que la materia prima de combustible es de procedencia de hidrocarburos (petróleo) del Lago de Maracaibo.

### 3.3.2.1.2 ALTERNATIVA 2 (A2) Pulpa Tipo II con $N^{\circ}$ Kappa entre 20 a 30

La Alternativa 2 (A2), según las técnicas de Mcdm y el método AHP, resultó ser la opción más favorable desde el punto de vista ambiental con una puntuación de 0,574; ya que el tiempo de cocción estimado para (A2) es el menor con respecto a las otras dos alternativas proyectadas y el cual corresponde según las condiciones de cocción a 30 minutos en el proceso industrial.

No obstante y en base a información técnica obtenida en el transcurso del tiempo a través de innumerables investigaciones de laboratorio y que según Couto (1979), citado por Miranda (1990), la principal característica que afecta la impregnación es la dimensión de las astillas, cuando menor son las astillas más rápido es la impregnación y menor puede ser el tiempo de cocción. Pero por otro lado, menor tamaño de las astillas trae consecuencias negativas como mayor gasto de energía, mayor proporción de cortes de fibras producidas en el astillador y para finalizar mayor degradación de los carbohidratos en el proceso de cocción. Por lo tanto, la dimensión de las astillas es una característica que se fija en las condiciones de cocción para la preparación de la materia prima y que es muy importante tomar en cuenta, para cualquier

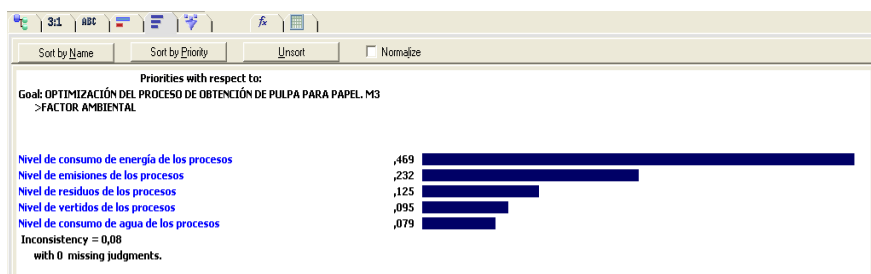
proceso químico llevado a cabo en la industria de celulosa y papel.

De acuerdo con Harten y Stade (1979) citado por Miranda (1990), en el proceso de pulpificación Kraft la difusión es un proceso predominante por la cual los constituyentes químicos del licor de cocción son transportados hacia el interior de las astillas. Por lo cual, la razón de difusión es prácticamente la misma en las tres direcciones de las astillas; es decir, longitudinal (largo), radial (espesor) y tangencial (ancho), a través de la cual son transportados los licores para el interior de las astillas. Pero, Folker (1978), explica que se debe prestar atención sobre la longitud de la fibra de las astillas, pues la velocidad de penetración del licor en sentido longitudinal ocurre más rápidamente. De esta forma, astillas cortas pueden ser impregnadas más rápidamente. Sin embargo, trabajos consultados por este mismo autor, concluyen que el espesor de las astillas determina la velocidad de penetración y uniformidad de la distribución del licor. Actualmente el espesor es reconocida como la dimensión crítica de las astillas en el proceso Kraft, con sus efectos sobre el rendimiento, calidad de la pulpa, propiedades físico-mecánicas y número Roe.

Es por ello, que los resultados del método aplicado arrojaran en la selección de la mejor alternativa esta opción; ya que según las condiciones de cocción fijadas para esta alternativa, se corresponde a la preferencia en la clasificación del tamaño de astillas por espesor.

### 3.3.2.2 Resultados del análisis prospectivo del Factor Tecnológico

Con respecto al desarrollo de selección de la mejor alternativa para la optimización del proceso de obtención de pulpa para papel, según el criterio defi-



**Figura 4.** Definición de los diferentes valores obtenidos y nivel de importancia de cada alternativa para la optimización del proceso de obtención de pulpa para papel y cartón, con respecto al factor ambiental con su respectiva inconsistencia, a partir del uso del software Expert Choice.



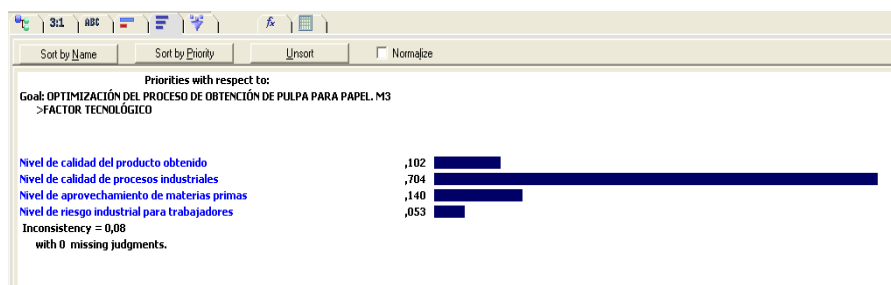
nido como la influencia del Factor Tecnológico en los procesos de pulpificación, fue seleccionada de acuerdo a las puntuaciones obtenidas en los pesos de importancia, la Alternativa 1 (A1) Pulpa Tipo I, seguida por la Alternativa 2 (A2) Pulpa Tipo II y por último la Alternativa 3 (A3) Pulpa Tipo III (Figura 5). Todo ello, como resultado de las consideraciones planteadas por los Expertos en relación a cuáles deberían ser los mejores aspectos tomados en cuenta con respecto al nivel de calidad de Procesos Industriales; nivel de calidad del Producto obtenido; nivel de aprovechamiento de materias primas y nivel de riesgo Industrial para trabajadores.

El factor tecnológico está íntimamente relacionado con el factor ambiental, a medida que se desarrollan nuevas tecnologías para optimizar los procesos industriales, pueden generarse también nuevas y mayores fuentes de contaminación. Por lo que hoy en día, existen las tecnologías para reducir al mínimo la contaminación producida por la industria de pulpa y papel, entre las que se encuentran Las Mejores Tecnologías Disponibles, las cuales tienen aproximadamente una década y en los últimos 5 años, se han realizado importantes avances en el diseño de ingeniería de los procesos de producción y de mitigación; los cuales se centraron en cambios para la disminución en la generación de emisiones y residuos en general y, perniciosos en particular, la recirculación del agua utilizada (circuitos cerrados) y el tratamiento de los efluentes BVSDE (2010). En fábricas nuevas, sólo basta con ajustar la legislación, exigir el cumplimiento de las MTDs como patrones de calidad ambiental, y verificar el cumplimiento de los valores permitidos durante su funcionamiento. Por otra parte y según la Unep (1998), con la implementación de la Producción más Limpia en los procesos productivos

de la Industria de Celulosa y Papel podemos obtener beneficios derivados de tales actividades; ya que, además de lograrse niveles más bajos de contaminación y riesgos ambientales, se logran con frecuencia ventajas en la competitividad empresarial. Esto se da porque el aprovechamiento más eficiente de las materias primas y la optimización de los procesos industriales pueden reducir de manera significativa los costos de operación, además de los riesgos industriales para los trabajadores y en este sentido, la producción más limpia y la integración de procesos tienen ventajas económicas inmensas comparado con los métodos tradicionales de control de la contaminación.

Otros estudios realizados por González *et al.* (2002) y González (2004), indican que mediante la Tecnología limpia cuyo objetivo es la tecnología de proceso más eficiente y más limpia, establecida en procesos industriales, tiene como puntos fuertes que fortalece la focalización sobre la eficiencia de los procesos y la minimización de residuos en origen y como punto débil que el foco sobre la tecnología podría detener la búsqueda de soluciones. Numerosos investigadores han demostrado que, para prevenir la generación de residuales en los procesos químicos, es necesario el desarrollo de una estrategia que involucre la utilización de herramientas de integración de masa y energía que se han desarrollado con este fin. Sin embargo, una visión más abarcadora es sin duda la posibilidad de los métodos de Análisis de Procesos, que incluyen los de integración material y energética en la industria del papel.

Por lo tanto, y como se representa en la figura 5, los pesos de importancia reflejados en pantalla arrojados por el método AHP, colocan el nivel de calidad de procesos industriales con una puntuación



**Figura 5.** Definición de los diferentes valores obtenidos y nivel de importancia de cada alternativa para la optimización del proceso para obtención de pulpa para papel y cartón, con respecto al factor tecnológico y su respectiva inconsistencia, a partir del uso del software Expert Choice.

de 0,704, seguido por el nivel de aprovechamiento de las materias primas con 0,140; corroborando todo el análisis expuesto en el párrafo anterior, luego y a partir de los 2 niveles anteriores le sigue el nivel de calidad del producto obtenido con 0,102 y para concluir con el nivel de riesgo industrial para los trabajadores con 0,053, lo que concuerda con la realidad, ya que a medida que se optimizan los procesos disminuyen los riesgos industriales.

### 3.3.2.3 Resultados del análisis prospectivo del factor socio-económico

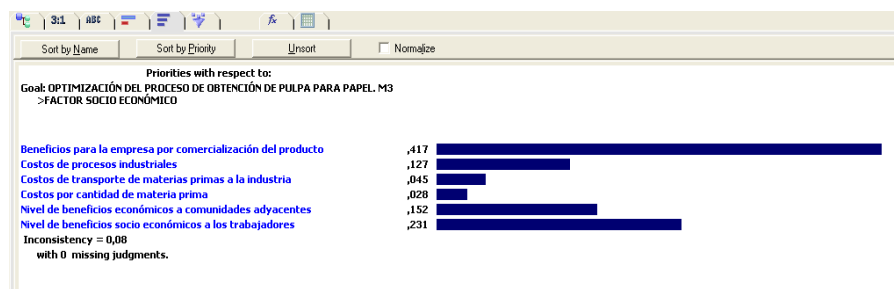
En el criterio definido como influencia del factor socio-económico con respecto a las tres (3) alternativas obtenidas para la optimización del proceso de obtención de pulpa para papel, se puede apreciar que la mejor alternativa según los criterios de evaluación por parte de los expertos, en relación a costos de transporte de materia prima a la industria; costos por cantidad de materia prima; costos de procesos industriales; beneficios para la empresa por comercialización del producto; nivel de beneficios socio-económicos a los trabajadores y nivel de beneficios económicos a comunidades adyacentes; correspondió a la Alternativa 1 (A1) Pulpa Tipo I; seguida por la Alternativa 2 (A2) Pulpa Tipo II y por último la Alternativa 3 (A3) Pulpa Tipo III.

En la figura 6, podemos apreciar que según los pesos de importancia para cada uno de los aspectos referentes a este factor han sido beneficios para la empresa (0,417) en primer lugar; seguido por beneficios socio-económicos a los trabajadores (0,231); beneficios económicos a comunidades adyacentes (0,152); costos de procesos industriales (0,127); costos de transporte de materia prima a la industria (0,045) y en último lugar costos por cantidad de materia prima (0,028).

Lo que se justifica en base a que la empresa está dedicada a satisfacer las necesidades de empaques en el mercado nacional e internacional; por lo tanto, produce, desarrolla y comercializa, soluciones de papel, cartón y empaques; generando beneficios a la empresa para de esta manera poder mantener su liderazgo y crecimiento a través de estrategias como: Superar continuamente las expectativas y necesidades de los clientes; Desarrollar fuentes de recursos, materiales, productos, servicios y mercados; Fomentar asociaciones estratégicas con los clientes y proveedores; Operar en armonía con las comunidades, el medio ambiente y apegados a principios éticos; Promover el trabajo en equipo, en un clima laboral seguro y Cumplir con las expectativas de sus accionistas.

Por otra parte y con respecto al nivel de beneficios socio-económicos el grupo Smurfit Cartón de Venezuela se halla ligado a las comunidades de cada región donde actúan sus empresas; mediante programas socioeducativos y culturales mantiene el acercamiento con su entorno, para lograr la integración total con las comunidades. Sus operaciones están totalmente integradas con actividades productivas que comprenden: siembra y manejo de plantaciones forestales, investigación y mejoramiento genético de los árboles; así como, la recolección, procesamiento y reciclaje de fibras secundarias, fabricación y venta de papel, cartulinas, cartón y empaques, además del servicio de diseño estructural y gráfico.

Según datos del PPI (2010) Latin América de RISI, América Latina sigue siendo uno de los mercados de cajas de cartón corrugado más importantes para el Grupo Smurfit Kappa; de hecho, sus ventas crecieron un 7 % en volumen en el 2010.



**Figura 6.** Definición de los diferentes valores obtenidos y nivel de importancia de cada alternativa para la optimización del proceso para obtención de pulpa para papel y cartón, con respecto al factor socio-económico, a partir del uso del software Expert Choice.

Por ejemplo, la constante incorporación de técnicas más avanzadas abre nuevos campos en la utilización de productos, abarcando áreas insospechadas del quehacer humano, generando nuevas creaciones y aportando al mejoramiento de la calidad de vida de las personas. El papel no sólo es el sustento de la creación literaria, científica o artística; tiene que ver con la presentación de nuevos productos, la conservación de alimentos frescos, la higiene y la salud, convirtiéndose en auxiliar indispensable para las nuevas expresiones de la informática. El consumo crece sostenidamente en un mundo donde a los productores tradicionales; es decir, los países ubicados en el hemisferio norte, ya se les hace cada vez más difícil acceder a la materia prima básica, el árbol. Es por ello, que los continentes meridionales como el americano, con suelos de extraordinaria fertilidad forestal, se han convertido en los escenarios más dotados para el futuro desarrollo de la industria.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

Mediante la aplicación del método AHP, como Técnica Mcdm en la presente investigación, se pudo comprobar que en el mundo de la ciencia e investigación se cuenta con una herramienta útil, sobre todo para establecer prioridades dentro de un determinado problema de toma de decisión. Con respecto al software Expert Choise, también es un programa que se ha transformado en una de las herramientas de mayor difusión del método matemático proceso de jerarquización analítica (AHP), para analizar decisiones complejas a partir de criterios múltiples; ya que se basa en mediciones matemáticas con fundamentos psicológicos.

Una de las grandes ventajas de realizar la evaluación de un proyecto, es que se pueden detectar posibles fallas o beneficios en el proyecto, sin tener que esperar resultados finales por su ejecución de largo plazo; y por otra parte ayuda a explicar cómo y por qué ocurren los efectos del proyecto.

En la presente investigación el movimiento de los reactivos químicos en la madera durante la obtención de pulpas químicas, es uno de los factores más importantes en los procesos químicos como en los semi-químicos. La velocidad de movimiento del licor de cocción en la madera, está afectada por varios factores: concentración, pH, composi-

ción del licor, densidad, contenido de humedad, estructura de la madera y condiciones de temperatura, durante todo el proceso. El licor debe moverse dentro de los poros de la madera, en este sentido la dimensión de las astillas, antes de procesarla acorta o alarga la trayectoria de la penetración y la difusión. Por lo tanto, la justificación de este proyecto y toma de decisión más acertada, radica en el hecho que para los fabricantes de pulpa, a nivel industrial, existe una necesidad imperiosa de conocer con exactitud lo que ocurre dentro de las astillas, ya que la difusión y penetración de los licores dentro de las astillas determinará de forma contundente el rendimiento final en la pulpa, lo cual implica ganancias en dinero, una mejor calidad de la pulpa obtenida y un papel de mayor resistencia. En los congresos internacionales, más recientes, se ha tratado con intensidad este tema; por lo que se hace necesario el estudio exhaustivo de la trayectoria del licor en la astilla y su influencia en la deslignificación y el rendimiento.

De ahí, que en el desarrollo del presente trabajo se haya podido llegar a definir con fundamento tecnológico al aplicar las técnicas Mcdm, que la alternativa de mayor consenso de los diferentes planteamientos propuestos fue la Alternativa 1 (A1) definida como Pulpa Tipo I con N° Kappa entre 10-20 (peso de importancia 0,573), seguida en orden de importancia por la Alternativa 2 (A2) definida como Pulpa Tipo II con N° Kappa entre 20-30 (peso de importancia 0,293) y por último la Alternativa 3 (A3), Pulpa Tipo III con N° Kappa > 30 (peso de importancia 0,134). Estas valoraciones fueron producto del consenso y valoración técnica de cada uno de los cinco expertos involucrados en el proyecto de investigación.

Finalmente, mediante el desarrollo del presente trabajo se pudo determinar que una de las opciones más efectivas, tanto para el ahorro económico como, para la reducción del tiempo utilizado en la realización de procesos, es la aplicación de técnicas Mcdm, para la evaluación de proyectos; la cual nos va a permitir tomar decisiones más acertadas acerca de la puesta en marcha de un determinado proceso en planta de pulpa, como en cualquier otra división de la industria, para lograr optimizar los procesos operativos y de esta manera lograr mayores rendimientos en la producción, lo que se traduciría en ganancias para la empresa.

## 5. Referencias bibliográficas

- ARAGONÉS P., M. GARCÍA, W. CONTRERAS, y M. OWEN. 2004. Importancia de la aplicación de las técnicas de decisión multicriterio (Mcdm), en la industria forestal mecánica de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 48(2): 75-90.
- BRYSON N. y A. MOBOLURIN. 1994. An approach to using the analytic hierarchy process for solving multiple criteria decision making problems. *European Journal of Operation Research* 76:440-454.
- BVSDE, 2010. Industria del papel y de la pasta de papel 72. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo. 21p. En línea: <http://www.bvsde.paho.org/bvsast/e/full-text/enciclopedia/72.pdf> (Consultado el: 29/11/2010).
- CONTRERAS W. y V. CLOQUELL. 2006. Propuesta metodológica de diseño ambientalmente integrado (dAI), aplicada a proyectos de diseño de productos forestales laminados encolados con calidad estructural. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 636 p.
- FIQUS. 2010. Fundamentos de la producción de pastas celulósicas. En línea: [http://www.fiqus.unl.edu.ar/celulosa/Pulpado\\_Alcaino.pdf](http://www.fiqus.unl.edu.ar/celulosa/Pulpado_Alcaino.pdf) (Consultado el: 24/11/2010).
- FOLKER, M. 1978. *Métodos de determinación de la densidad básica de las astillas para Coníferas y Frondosas*. Escuela de Agricultura Luíz de Queiroz IPEF-Piracicaba. Universidad de Sao Paulo, Brasil. 93 p.
- GARCÍA, J., F. LÓPEZ, J. COLODETTE, J. GOMIDE, P. MUTJÉ, y M. PÉLACH. 2008. Estudio del pre-tratamiento con disolventes orgánicos en la obtención de pulpa Kraft de Eucalipto. V Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y papel. Octubre 20-23 de 2008. Guadalajara, Jalisco, México.
- GONZÁLEZ, C., L. ACEVEDO y S. GONZÁLEZ. 2002. La integración de procesos en la minimización del impacto ambiental. Congreso de Química. Septiembre 2-6 de 2002. Cancún, México.
- GONZÁLEZ, E. 2004. El pulpeo con etanol como alternativa para incrementar la competitividad de fábricas de papel mediante su desarrollo prospectivo integrado a industrias de la caña de azúcar. Editado por Cytel. Ciudad de la Habana, Cuba. 242 p.
- HANSSON F. 2006. Organizational Use of Evaluations Governance and Control in Research Evaluation. Evaluation. SAGE Publications. London, Thousand Oaks and New Delhi. 256 p.
- INALBON, M., M. ZANUTTINI, M. MUSSATI y V. MARZOCCHI. 2006. Modelado de la impregnación alcalina de chips de Eucalipto. Reacciones y transporte iónico. Instituto de Tecnología Celulósica. Instituto de Desarrollo y Diseño. Santa Fe, Argentina. En Línea: <http://www.celuloseonline.com.br/imagenbank/Docs/DocBank/Eventos/430/4InalbonOral.pdf> [Consultado: 16/01/2010].
- KANG M. y A. STAM. 1994. PAHAP: A pairwise aggregated hierarchical análisis of ratio-scale preferences. *Decision Sciences* 25 (4): 607-624.
- LIBBY, C. 1969. *Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel*. Tomo I: Pulpa. CECSA. Distrito Federal, México. 533 p.
- MEYERS, S. y D. ODÓN. 1993. *Uso de la electricidad en las industrias del acero, cemento y papel: una perspectiva internacional*. Universidad de California, USA. 45 p.
- MIRANDA, C. 1990. *Celulosa de maderas de E. citriodora: Influencia de los tamaños de las astillas*. Escuela de Agricultura Luíz de Queiroz. Piracicaba SP. IPEF. Universidad de Sao Paulo, Brasil. 110 p.
- MONTERDE R. 2010a. Bloque I. Conceptos generales sobre evaluación. Criterios de Evaluación. Material didáctico. Asignatura Evaluación de Programas (Proyectos). Universidad Politécnica de Valencia. Universidad de Los Andes. 24 p.
- MONTERDE R. 2010b. Bloque III. Diseño de Evaluación. Matriz de Evaluación. Formato de la matriz de Evaluación. Material didáctico. Asignatura Evaluación de Programas (Proyectos). Universidad Politécnica de Valencia. Universidad de Los Andes. 18 p.
- NOURELDIN, M. y M. EL-HALWAGI. 1999. Interval-based targeting for pollution prevention via mass integration. *Computers and Chemical Engineering* 23(1999):1527-1543.
- PAZ, J., A. SOLÍS, H. RUÍZ y M. TORRES. 2004. Pulpas semiquímicas a partir de madera de Eucalipto Proceso a la Sosa Fría. Universidad de Concepción, Escuela de Ingeniería, Concepción, Chile. En línea: [http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo24\\_Pulpas semiquEDmicas a partir de madera de eucalip.pdf](http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo24_Pulpas semiquEDmicas a partir de madera de eucalip.pdf) [Consultado: 16/11/2010].
- PEÑA, V. 1980. Palmas para Pulpa y Papel. Proyecto FO-50-77. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. CDCH-ULA. Mérida, Venezuela. 45 p.
- PPI. 2010. *Industria de pulpa y papel*. Latin América de RISI. Sao Paulo, Brasil. 109 p.
- SAATY Th. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York. USA. 256 p.
- SMOOK, G. (1990). *Manual para técnicos de pulpa y papel*. TAPPI PRESS, Atlanta, Georgia. 396 p.

- STAMEN. 2006. Governance, democracy and evaluation. Evaluation. SAGE Publications. Thousand Oaks and New Delhi. London, England. 203 p.
- TDR. 2010. II FUNDAMENTOS. 1. Materiales lignocelulósicos. En línea: [http://www.tdr.cesca.es/TESES\\_URV/AVAILABLE/TDX-0812102-093854//Fundamentos-5.pdf](http://www.tdr.cesca.es/TESES_URV/AVAILABLE/TDX-0812102-093854//Fundamentos-5.pdf) (Consultado el: 23/ 11/ 2010).
- UNEP. 1998. *Cleaner production and eco-efficiency*. UNEP, WBCS, Octubre 19–21 Beijing, China. 183p.
- ZANUTTINI, M. y E. CITRONI. 2000. Mecanismo y velocidad de impregnación alcalina de madera de álamo. I Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. Octubre 18 al 20 de 2000. Pto Iguazú, Provincia de Misiones, Argentina.