

**HERRAMIENTA MATEMÁTICA PARA EVALUAR TECNOLOGÍAS PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.**

LINA MARCELA BARCO PINEDA 2020055

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2008**

**HERRAMIENTA MATEMÁTICA PARA EVALUAR TECNOLOGÍAS PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.**

LINA MARCELA BARCO PINEDA 2020055

Trabajo de grado presentado como requisito para
Optar al título de Ingeniero Químico

Director
Ing. Químico PhD. HUMBERTO ESCALANTE HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2008**

*Mis logros son hoy
la cosecha de vida que un día
Dios puso en sus caminos.
Gracias papitos, los quiero mucho.*

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	10
RESULTADOS	20
CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFÍA	25

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cálculo del Factor de Importancia	7
Tabla 2. Escala valorativa para el cálculo del factor de importancia	8
Tabla 3. Criterios e indicadores definidos para la HMVST que evalúa las alternativas energéticas de la BRCA	11
Tabla 4. Datos de entrada de la matriz de valoración	13
Tabla 5. Significado de nivel de intervención de los riesgos evaluados	15
Tabla 6. Datos utilizados en el cálculo de los costos	18
Tabla 7. Matriz de evaluación de las alternativas para el criterio ambiental	20
Tabla 8. Matriz de valoración para el criterio tecnológico	21
Tabla 9. Matriz de valoración para el criterio económico	21
Tabla 10. Matriz de valoración para el criterio social	22
Tabla 11. Matriz Global de Valoración	23

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Figura 1. Esquema General de la HMVST	10
Figura 2. Esquema de la metodología desarrollada	10
Figura 3. Criterio Ambiental	12
Figura 4. Criterio Social	19
Figura 5. Orden del cálculo y uso de las matrices de valoración según los niveles de la HMVST	20

TÍTULO: HERRAMIENTA MATEMÁTICA PARA EVALUAR TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ*

AUTOR: BARCO PINEDA, Lina Marcela**

PALABRAS CLAVES: multicriterio, criterio, indicadores.

RESUMEN:

Se construyó una Herramienta Matemática para la Valoración y Selección de Tecnologías (HMOVST) utilizadas en el aprovechamiento energético de la Biomasa Residual (BR). Para diseñar la HMOVST se utilizó como base los métodos multicriterio, considerando cada alternativa tecnológica como una solución al problema planteado. La BR evaluada fue la cascarilla de arroz bajo 4 criterios globales que consideraron las ventajas económicas, ambientales, sociales y tecnológicas de cada alternativa. Cada criterio a su vez estuvo compuesto por un conjunto de indicadores encargados de valorar, mediante la asignación de una magnitud, el impacto producido sobre los criterios. Cada grupo de indicadores podía estar constituido también por otro nuevo conjunto de descriptores lo que generaba niveles de evaluación; en la HMOVST se contó con un nivel global correspondiente a los criterios y tres niveles de evaluación correspondiente a los conjuntos de indicadores generados. Las escalas utilizadas para los indicadores fueron cualitativas o cuantitativas, según la información presentada en cada uno de los casos. Las magnitudes asumidas de manera particular a cada indicador se evaluaron mediante matrices de valoración. El orden de evaluación comenzó por los niveles inferiores hasta llegar a los criterios. Las matrices de valoración compararon cada uno de los valores introducidos a la herramienta para generar preordenes de 1 a 3, donde 1 es el valor correspondiente a la alternativa más favorable y 3 a la menos favorable. Estos preordenes generados alimentaron las matrices de los niveles superiores de forma ascendente hasta llegar a la matriz global, que se encarga de generar una jerarquía de alternativas de la más conveniente a la menos conveniente. Para la cascarilla de arroz la Gasificación obtuvo el mejor puntaje, seguida de la Combustión y por último la Pirólisis.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ing. Físicoquímicas. Ingeniería Química. Directo PhD. Humberto Escalante

TITLE: MATHEMATICAL TOOL TO EVALUATED TECHNOLOGIES FOR ENERGETIC USED OF RICE HUSK *

AUTHOR: BARCO PINEDA, Lina Marcela **

KEY WORDS: multi-criterion, criterion, indicator.

ABSTRACT:

It was built a Mathematical Tool for Valuation and Selection of Technology (MTVST) used in the energetic utilization of Residual Biomass (RB). To design the MTVST, the multi-criterion methods were used as a base, considering every single technological alternative as a solution for the arranged problem. The evaluated BR was the rice husk under 4 global criteria that were used to consider the economical, environmental, social and technological advantages of each alternative. At the same time, each criterion was composed of a set of indicators designed to evaluate through the assignment of a determined magnitude, the impact produced on the criteria. Each group of indicators could also be composed by a new set of descriptors, generating different evaluation levels; in the MTVST, it was used a global level corresponding to the criteria and three evaluation levels corresponding to the generated indicator sets. The used scales for the indicators were qualitative or quantitative depending on the presented information in each one of the cases. The particularly assumed magnitudes for each indicator were valued using evaluation counterfoils. The order of evaluation started from the lower levels to finish with the criteria. The evaluation counterfoils compared the introduced values to the tool in order to generate pre-orders from 1 to 3, where 1 is the corresponding value to the most favourable alternative and 3 to the least favourable. These generated pre-orders fed the counterfoils on the higher levels in an ascending way to reach the global counterfoil, which is in charge of generating a hierarchy of alternatives from the most to the least convenient. For the rice husk, the gasification obtained the highest score, followed by the combustion and in last place the pyrolysis.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ing. Físicoquímicas. Ingeniería Química. Directo PhD. Humberto Escalante

INTRODUCCIÓN

La cantidad total de producción de arroz blanco en Colombia es de 2.316.725 Tn/año, produciendo una cantidad de cascarilla de arroz de 463.345 Tn/año con un PE de 5.712,86 TJ/año. El sector arrocero en Colombia presenta una importante oferta de Biomasa Residual (BR), generando al año 5.907.648 Tn de residuos de sus actividades de cosecha e industriales. Esta BR presenta un Potencial Energético (PE) de 67.723 TJ al año, que puede ser aprovechado mediante procesos termoquímicos o bioquímicos, [Escalante, et al, 2008].

Teniendo en cuenta que la Biomasa Residual de la Cascarilla de Arroz (BRCA) tiene una humedad del 10% en base seca y un Poder Calorífico Inferior (PCI) de 17,64 MJ/kg [Valverde, 2007], su conversión energética podría darse mediante tecnologías termoquímicas como: combustión, gasificación y pirólisis flash, para producir vapor y energía eléctrica, hidrólisis ácida y fermentación para producir etanol, y co-combustión. La combustión con sus diferentes productos es comercializada actualmente, sin embargo, las otras tecnologías ofrecen otras ventajas que valen la pena ser estudiadas y analizadas, [Matsamura, et al, 2005].

Qué hacer con la BRCA? y Cómo implementar la mejor tecnología para el aprovechamiento energético de la BRCA?, estas son preguntas que se hace permanentemente el sector industrial y académico/ investigativo, los cuales han venido aunando esfuerzos en los últimos años, en búsqueda de la mejor técnica de conversión para el aprovechamiento de esta biomasa. Ante estas preguntas, surge la necesidad de establecer un método matemático, que permita seleccionar la mejor alternativa tecnológica para los procesos industriales. Se pueden comparar algunos de los resultados obtenidos de la investigación y la industria, para diferir cualitativamente las tecnologías, pero no se cuenta con un mecanismo que permita la selección de la mejor tecnología a implementar en el residuo.

Estudiando cada alternativa de manera individual se conoce sus ventajas y desventajas frente a ciertos criterios primordiales que justifiquen su construcción. Sin embargo para la selección de una alternativa tecnológica adecuada es necesario desarrollar un método que permita la comparación simultánea de todas las opciones a estudiar y los criterios que afecten su elección. Al desarrollar este método matemático, se logra disminuir el grado de subjetividad de la decisión, cambiándola por un análisis que da respuesta a la necesidad de conocer cuál de todas las alternativas es más viable, bajo una serie de indicadores que justifiquen su uso industrialmente. Por lo anterior en el presente trabajo se ha definido como objetivo principal, desarrollar una herramienta matemática que permita valorar y seleccionar la mejor alternativa tecnológica para el aprovechamiento energético de la biomasa de arroz.

Fundamento teórico para la selección y valoración de tecnologías

Diversos métodos matemáticos han sido implementados para la selección de alternativas en diferentes necesidades industriales; así por ejemplo, Hidalgo, et al, (2003), desarrolló un análisis multicriterio para la mejor ubicación de una central de energía a partir de biomasa en Andalucía, España. En Colombia se han desarrollado métodos para la evaluación de alternativas por etapa en la producción de etanol carburante a partir de maíz, [Cardona, et al, 2005], mediante criterios económicos y ambientales. Calificando cada alternativa respecto a un indicador, de esta ponderación se obtienen evaluaciones que generan un indicador integral determinado para cada tecnología. Como producto estos investigadores obtuvieron una línea de proceso óptima para implementar al maíz como materia prima.

Por otra parte se han empleado métodos de valoración [Duarte, et al, 2005], para la selección de la mejor alternativa tecnológica en el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Bogotá. En este caso se planteo un método que involucró criterios económicos, ambientales, tecnológicos y sociales. La selección

de la mejor tecnología se realizó mediante el desarrollo de matrices de valoración, construidas a partir de fuentes de información secundaria.

Con base en las experiencias arriba mencionadas en este trabajo se plantea como objetivo principal, el diseño y construcción de una Herramienta Matemática para la Valoración y Selección de la mejor Tecnología (HMOVST), para el aprovechamiento energético de la BRCA. El diseño de la HMOVST, se llevo a cabo mediante la integración de criterios industriales, con base en la conservación del ambiente, la sociedad afectada, y que además tengan en cuenta las ventajas tecnológicas de cada alternativa.

Los criterios son elementos con los cuales se construye un objetivo, y permiten evaluar el impacto global de una tecnología en particular frente a otras alternativas. Cada criterio está compuesto por un conjunto de *indicadores*; los cuales son un grupo de descriptores, cualitativos o cuantitativos, que se encargan de calificar (mediante un peso asignado) la magnitud de un determinado impacto asociado a los criterios. De igual manera, cada indicador a su vez puede estar conformado por un nuevo grupo de descriptores; de forma que sucesivamente se van generando niveles de calificación para el criterio [Conesa, 1997], [Romero, 1993].

Los indicadores pueden definirse mediante una función analítica, cuando las variables son cuantificables numéricamente y la información está disponible; en caso contrario se definen cualitativamente [Martínez, 1998].

Cada grupo de indicadores se debe seleccionar con base en la descripción que estos aportan al criterio del cual hacen parte. La definición de la serie de indicadores que se utilizan para la selección de la tecnología, se realiza teniendo en cuenta análisis de estudios anteriores sobre aplicación de tecnologías en procesos industriales [Hidalgo, 2002], [Duarte et al, 2005], [Cardona et al, 2005]. Los indicadores enunciados deben ser coherentes entre sí, no pueden ser repetitivos y deben formar parte por su similitud a uno de los cuatro criterios principales. De esta forma surgen los criterios que corresponden a los impactos

analizados en cada tecnología, los indicadores de primer nivel que describen a los criterios, los indicadores de segundo nivel que se encargan de evaluar a sus indicadores superiores y así sucesivamente hasta llegar a un tercer nivel, o cuarto nivel. Los niveles de indicadores proporcionan una descripción total de los criterios globales a analizar.

Métodos de Evaluación:

Una vez se dispone de los criterios e indicadores para un grupo de tecnologías, es necesario utilizar un método matemático manejar esta información y poder discernir cual es la más adecuada. Los métodos de evaluación y decisión multicriterio comprenden la selección entre un conjunto de alternativas factibles y un único agente decisor, y procedimientos de evaluación racionales y consistentes. Estos métodos son utilizados para realizar una evaluación y decisión respecto a problemas que, por naturaleza o diseño, permiten un número finito de alternativas de solución. Los métodos multicriterio están compuestos por:

- *Un conjunto de alternativas estable:* generalmente finito (soluciones factibles, posibles o previsibles); se asume que cada una de ellas está perfectamente identificada, aunque no son necesariamente conocidas en forma exacta y completa todas sus consecuencias cuantitativas y cualitativas.
- *Una familia de criterios de evaluación (atributos, objetivos):* que permiten evaluar cada una de las alternativas (analizar sus consecuencias), conforme a los pesos (o ponderaciones) asignados por el agente decisor y que reflejan la importancia (preferencia) relativa de cada criterio; las propiedades de una familia de criterios consistente son: exhaustividad, coherencia, no-redundancia (independencia), mensurabilidad y economicidad.
- *Una matriz de decisión o de impactos:* que se forma con la unión de los criterios y sus respectivos indicadores (columnas) y las alternativas a estudiar (filas). Resume la evaluación de cada alternativa. Una valoración (precisa o subjetiva) de cada una de las soluciones a la luz de los criterios; la escala de

medida de las evaluaciones puede ser cuantitativa o cualitativa, y las medidas pueden expresarse en escalas cardinal (razón e intervalo), ordinal, nominal y probabilística.

- *Una metodología o modelo de agregación de preferencias* en una síntesis global; ordenación, clasificación, partición, o jerarquización de dichos juicios para determinar la solución que recibe las mejores evaluaciones.
- *Un proceso de toma de decisiones* (contexto del análisis) en el cual se lleva a cabo una negociación consensual entre los actores o interesados (analista-experto-, decisor y usuario), [Martínez, et al, 1998].

En realidad, no existe una alternativa (solución) que satisfaga y sea preferible en cada una de las funciones objetivo (criterios). Normalmente se presenta el caso de alternativas factibles, o sea, aquellas que cumplen las restricciones que son mejores que otras en relación a algunos criterios o que son peores que otras, respecto a los restantes criterios. Los métodos de evaluación y decisión multicriterio no consideran la posibilidad de encontrar una solución óptima. En función de las preferencias del agente decisor y de objetivos pre-definidos (usualmente conflictos), el problema central de los métodos multicriterio consiste en: (i) seleccionar la(s) mejor(es) alternativa(s), (ii) aceptar alternativas que parecen buenas y rechazar aquellas que parecen malas, (iii) generar una jerarquía de las alternativas consideradas (de la mejor a la peor), [Martínez, et al, 1998].

En este estudio, para la selección de la mejor tecnología para el aprovechamiento de la BRCA, se escogió como método de evaluación y decisión multicriterio el Análisis Jerárquico o AHP como es conocido. Este método descompone una situación compleja y no estructurada en sus componentes, los ordena en una jerarquía, realiza comparaciones binarias y atribuye valores numéricos a juicios subjetivos (respecto a la importancia relativa de cada variable), y sintetiza los juicios, agregando las soluciones parciales en una sola solución. El método AHP utiliza escalas de razón, no admite el principio de una sola solución. Normalmente, los objetivos (criterios) son ordenados de lo más generales y menos

controlables a los más específicos y controlables. El Análisis Jerárquico es un método bastante intuitivo en su aplicación, difícilmente manipulable, y probablemente sea el método más difundido y con la mayor gama de experiencias prácticas tanto en los Estados Unidos como en el resto del mundo, [Martínez, et al, 1998].

Como apoyo al método AHP se implementaron Matrices de Valoración, que integran los criterios a analizar, y permiten la comparación de los datos introducidos en la HMVST para cada indicador. Con las matrices de valoración se establece una comparación entre los valores cualitativos o cuantitativos introducidos a la herramienta, mediante funciones programadas en Excel. Cada función compara el valor introducido con respecto, con el fin de encontrar la alternativa más conveniente y la menos favorable. Como resultado de aplicar estos métodos se obtiene una escala valorativa del orden de conveniencia de las alternativas de tratamiento seleccionadas y analizadas. [Duarte, et al, 2005].

A cada uno de los indicadores seleccionados se asignó una magnitud y escala según la descripción que este deba realizar sobre el impacto a evaluar. Algunos indicadores pueden ser evaluados mediante datos cuantitativos; estos datos se pueden encontrar como valores exactos o como funciones matemáticas descritas en la literatura. Por ejemplo, los pretratamientos son evaluados por los costos que estos generan, y se calculan mediante funciones matemáticas [Caputo et al, 2004]; a la misma escala y bajo iguales condiciones para las alternativas estudiadas. Si por el contrario los indicadores carecen de información y deben ser evaluados de manera cualitativa, las escalas utilizadas para la asignación de un valor son tomadas de estudios realizados anteriormente, dependiendo de cada uno de los ítems a evaluar.

El método desarrollado consiste en una evaluación de los indicadores desde los niveles inferiores hasta llegar a una comparación global correspondiente a los criterios, de manera ascendente según el orden mostrado en la tabla 2; en el presente estudio se seleccionaron los criterios ambiental, tecnológico, económico y social. La evaluación se divide en dos etapas, que se desarrollan

simultáneamente a medida que se asignan magnitudes a cada uno de los indicadores. La primera etapa corresponde a la asignación de un *factor de importancia (W)*, que se encarga de determinar la relación de un indicador respecto a los otros indicadores de su mismo grupo. El cálculo de *W* analiza solo los criterios, en caso del análisis global, o los indicadores de un solo grupo sin tener en cuenta las alternativas tecnológicas. El *W* se calcula mediante una matriz $n \times n$, donde n es el número de criterios o indicadores analizados. Así por ejemplo, para el cálculo del *W* de los criterios globales, se construye una matriz como se muestra en la tabla 1. Los valores enteros son asignados por el agente evaluador y corresponden a la importancia de uno de los criterios con respecto a otro, como se muestra en la tabla el factor ambiental se considero 3 veces más importante que el tecnológico y así sucesivamente hasta completar los espacios por encima de la diagonal principal. La diagonal principal corresponde a la comparación del criterio consigo mismo, por lo tanto es 1. Los valores inferiores corresponden al recíproco del valor asignado en su posición contraria, por eso la comparación entre el criterio tecnológico con el ambiental es 1/3.

Tabla 1. Cálculo del factor de Importancia

	Ambiental	Tecnológico	Económico	Social
Ambiental	1	3	5	7
Tecnológico	1/3	1	5	7
Económico	1/5	1/5	1	5
Social	1/7	1/7	1/5	1

Fuente: propia

En la tabla 2 se muestran la escala de números absolutos usada para asignar los valores numéricos a los criterios o indicadores. El menor elemento se usó como la unidad y al mayor elemento se le asignó un valor de esta escala como un múltiplo de esa unidad (9).

Tabla 2. Escala valorativa para el cálculo del factor de Importancia

ESCALA FUNDAMENTAL		
<i>Intensidad de Importancia</i>	<i>Definición</i>	<i>Explicación</i>
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen de igual manera al objetivo.
3	Mediana importancia	La experiencia y el juicio favorecen un poco una actividad sobre la otra.
5	Mucha importancia	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
7	Gran importancia o importancia demostrada	Se favorece mucho una actividad sobre otra; su dominancia está demostrada en la práctica.
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es el grado más alto de afirmación.
2, 4, 6, 8	Valores de compromiso entre los valores de intensidad	A veces uno necesita interpolar un juicio de acomodo numérico, porque no hay una palabra que sirva para describirlo.
Recíprocos de los anteriores	Si la actividad i tiene asignado uno de los números de arriba que no sea uno al ser comparados con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se lo compara	Una comparación que se hace eligiendo el menor elemento como la unidad para calcular el más grande como un múltiplo de esa unidad.

Fuente: Martínez, et al, 1998.

Posteriormente se divide cada valor por la sumatoria de la columna a la que corresponda; luego se suman los cocientes de la fila obtenidos y se divide por el número de componentes de dicha fila. El valor final de cada fila corresponde al *W* del criterio de dicha fila. Estos valores se hallan al iniciar cada nivel de indicadores, y su sumatoria es igual a 1 con el fin de diferenciar la importancia de cada uno de estos indicadores dentro de su conjunto evaluativo.

La segunda etapa del método se evalúa y compara cada indicador con respecto a la alternativa estudiada. El comportamiento de cada uno de los aspectos evaluados es analizado con una comparación entre las tecnologías. Este estudio de tecnologías se realiza mediante matrices de valoración. Cada matriz de valoración esta compuesta por un conjunto de indicadores ya definido y un W calculado para cada indicador.

Los indicadores y las alternativas son evaluados de manera individual, asignando los datos calculados o encontrados en la literatura. Con estos valores se construye una matriz de comparación, donde se asigna a cada uno de los indicadores un número de orden de 1 a 3, según los datos ingresados; el número uno corresponde a la alternativa de mayor conveniencia y el número de orden tres a la alternativa de menor conveniencia [Duarte, 2005]. Estos números de orden alimentan la matriz de valoración mencionada anteriormente y se calculan mediante funciones de comparación programadas en Excel.

Al alimentar la matriz de comparación con los números de orden, estos son multiplicados por el W correspondiente a cada uno de ellos. La suma de los productos entre el número de orden y el W de cada indicador, define un puntaje o pre orden para cada alternativa. La evaluación de los indicadores de nivel 3 alimentan una matriz de valoración para su nivel inmediatamente superior, y a su vez se desarrolla la misma evaluación para alimentar las siguientes matrices hasta llegar a los criterios. La última comparación corresponde a una evaluación global que da como resultado un orden jerárquico de las alternativas tecnológicas estudiadas. Este método se esquematiza en la figura 1; donde se observa, que cada vez que comienza la evaluación de un grupo de indicadores o criterios, es necesario calcular el W de este grupo, así como para la matriz global. El preorden parcial que alimenta la matriz global corresponde al orden suministrado por las diferentes evaluaciones realizadas en cada conjunto de indicadores y posteriormente criterios.

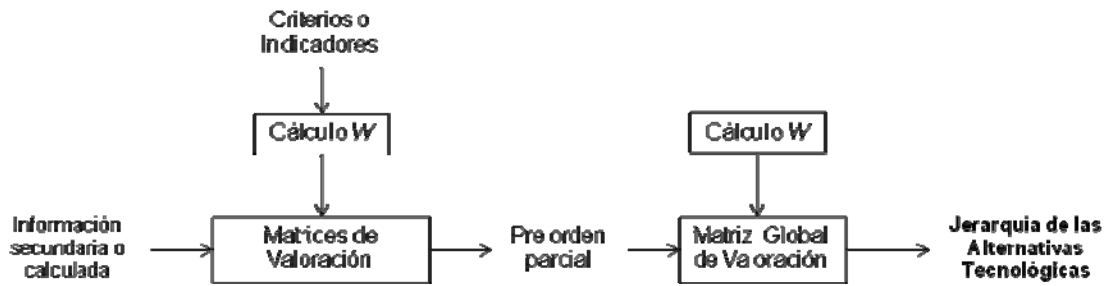


Figura 1. Esquema general de la HMVST.

METODOLOGÍA

El diseño, construcción e implementación de la HMVT se desarrolló siguiendo las etapas que se muestran en la figura 2. En primer término es necesaria la selección preliminar de las tecnologías, luego para la ejecución del método se requiere simultáneamente ir definiendo los factores de Importancia de cada indicador evaluado.

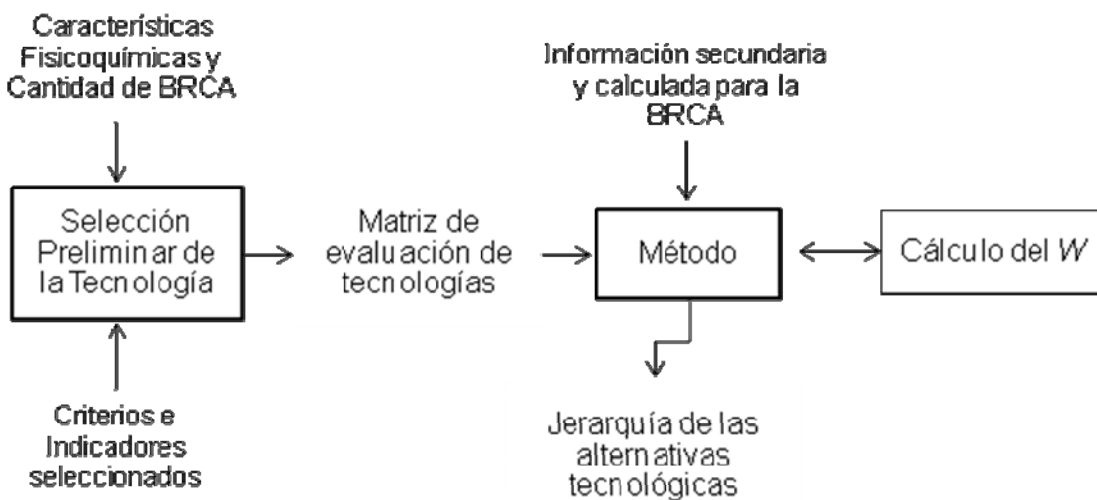


Figura 2. Esquema de la metodología desarrollada

Selección Preliminar de la Tecnología: se realizó una revisión bibliográfica sobre: características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, su Potencial Energético y tecnologías para su aprovechamiento. Con base en la anterior información se seleccionaron tres tecnologías para estudio: Combustión, Pirólisis y Gasificación.

Se definieron como criterios, dada su relevancia industrial, los aspectos ambientales, tecnológicos, sociales y económicos. Las tecnologías preseleccionadas son comparadas con los criterios e indicadores que se buscan evaluar. Un panorama global de la matriz a conformar se muestra en la tabla 3.

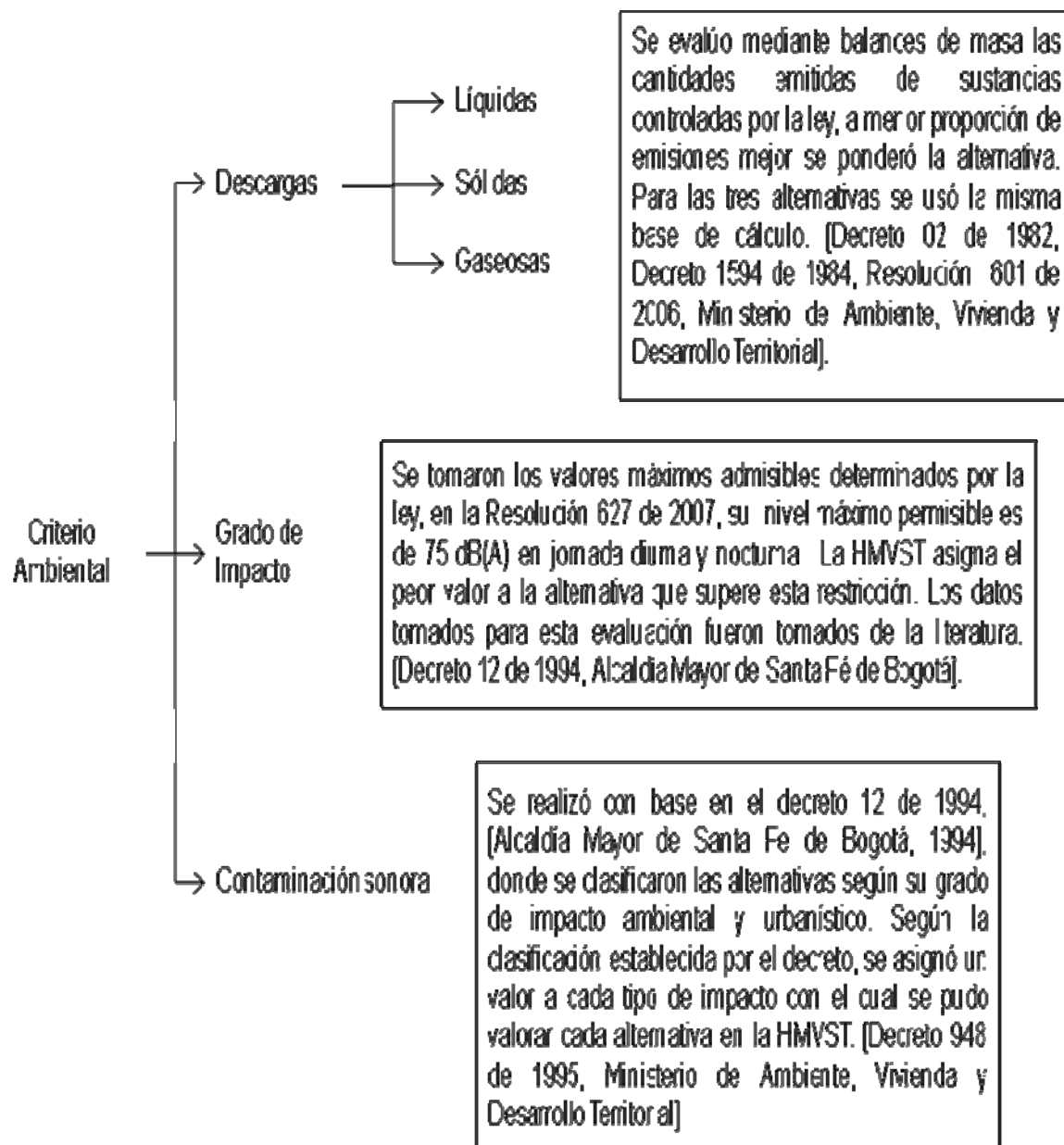
Tabla 3. Criterios e Indicadores definidos para la HMVST que evalúa las alternativas energéticas de la BRCA

Criterio	Indicador (Nivel 1)	Indicador Nivel 2	Indicador Nivel 3	
Ambiental	Grado de Impacto			
	Descargas	Gaseosas		
		Líquidas		
		Sólidas		
Contaminación sonora				
Tecnológico	Materia Prima	Disponibilidad		
		Características FQ	Humedad, Lignina, Celulosa, Sólidos volátiles, Cenizas	
	Proceso	Madurez		
		Subproductos		
		Complejidad	Pretratamientos	
			Postratamientos	
		Infraestructura	Área requerida	
			Riesgos	
Capacidad mínima				
Económico	Costos	Construcción		
		Mantenimiento		
		Operación	Servicios	
		Transporte		
	Eficiencia de la			
Social	Generación de			
	Aceptación social			

Fuente: propia

En la figura 3 se muestra un esquema del criterio ambiental y se describe la forma en la que se evaluó los indicadores de último nivel.

Figura 3. Criterio Ambiental



Con respecto al criterio tecnológico, los indicadores evaluados se muestran en la tabla 4:

Tabla 4. Datos de entrada de la matriz de valoración.

CRITERIO	Unidad	Tecnología			RESIDUO
		COMBUSTIÓN	PIRÓLISIS	GASIFICACIÓN	
AMBIENTAL					
Impacto Ambiental ¹	Escala	13	9	13	
Contaminación	dB(A)	6.6	0	0	
Descargas²					
Gaseosas					
CO	mg/m3	0	0.70	1.17	
SOx	mg/m3	0.01	0	0	
NOx	mg/m3	0	0	0	
MP	mg/m3	0	0.90	0.13	
Líquidas					
Se consideran subproductos del proceso.					
Sólidas					
Se consideran subproductos del proceso.					
TECNOLÓGICO					
Materia Prima					
Disponibilidad ³	(t/día)	340	300	100	423.95
Características FQ⁴					
%H	%p/p	40	10	20	7.55
%Cv	%p/p	70		80	56.54
%Cenizas	%p/p	2	10	10	19.59
%Celulosa	%p/p	40	50	60	53.93
%Lignina	%p/p	45	65	30	41.00
Proceso					
Madurez ⁵	Escala	4	1	2	
Subproductos					
Sólidos	kg/h	1388.8	1675.53	1330	
Líquidos	kg/h	0	2137.75	0	
Gaseosos	kg/h	Producto Principal			
Complejidad					
Pretratamiento	US\$	88923.20	88923.20	75746.35	
Postratamiento	US\$	3036815.56	303681.56	263677.26	
Infraestructura					
Área requerida ⁶	(Ha)	0.25	2.5	2.5	
Riesgos⁷					
T extrema	Escala	150	150	50	
Agentes químicos	Escala	150	180	1000	
Contacto térmico	Escala	50	1000	1000	
Agentes biológicos	Escala	0	0	0	
Capacidad mínima	Kw _{instalado}	1	105	4	

ECONÓMICO					
Costos					
Construcción	US\$	1885000	7000000	510000	
(Capacidad)	kg/h	10000	1041.66	15000	
Producción	US\$/kWh	0.152	1.265	0.949	
Mantenimiento	US\$/kWh	0.1368	1.1385	0.8541	
Eficiencia Tecnológica⁸	%	80	80	60	
SOCIAL					
Generación empleos⁹	No. Empleos	25	32	25	
Aceptación social¹⁰	Escala	3	2	2	

¹ Decreto 12 de 1994, Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá; ² Cao, et al, 2008; ³ Ji-Lu, et al, 2007; ⁴ McKency, 2002; ⁵⁻⁶⁻¹⁰ Sánchez, 2002; ⁷ Llimona, et al, 2004; ⁸ Royo, et al, 2002, Williams, et al, 2000, Yin, et al, 2002; ⁹ García, et al, 1999.

Características Fisicoquímicas: Los factores fisicoquímicos analizados son: humedad, carbono volátil, cenizas, celulosa y lignina, todos en porcentaje p/p y base seca. Se compararon las características obtenidas de la caracterización de la BRCA [Escalante et al, 2008], con las condiciones mínimas exigidas por cada tecnología. Estos valores se muestran en la tabla 3.

Los valores de cada propiedad que se encontraron dentro del rango exigido por la tecnología se les asignó un puntaje de 2, que corresponde al “mejor” valor, y aquellas que sobrepasaron los niveles mínimos requeridos, se les asignó un valor de 6 que corresponde al “peor” valor que puede obtener. Los valores obtenidos fueron sumados para alimentar la matriz de Características Fisicoquímicas, donde se asignó un valor de 1 a la alternativa con menor sumatoria, y así en orden descendente.

Disponibilidad: se comparó la cantidad mínima de materia prima necesaria en cada planta para que sea económicamente rentable y que además, se encuentre disponible sin afectar la producción de la planta en un periodo de tiempo determinado. El tiempo corresponde al período de operación en que puede funcionar la tecnología con el suministro de materia prima disponible.

Como base para el estudio, se seleccionaron los municipios más productores de arroz: Guamo, Purificación y Espinal, y que por ende producen mayor cantidad de biomasa residual [Escalante, et al, 2008]. Por ser el arroz un cultivo transitorio, se calculó la masa que se debe almacenar para mantener un suministro mensual constante; para alimentar la planta procesadora de biomasa residual. Por lo anterior se requiere por día de 423,95 toneladas de cascarilla de arroz. Se considero que la disponibilidad del residuo es total, por consiguiente este factor se valoró con una calificación de 1; es decir que todo el residuo generado será utilizado en la generación de energía. Este valor de cascarilla disponible se comparó en la HMVST, con los requerimientos mínimos de cada tecnología para ser operable de manera intermitente o sin problemas, y se le asignan pesos para su clasificación según sean “buenos” o “malos” valores.

Madurez de la Tecnología: se evaluó el avance de cada una de las alternativas estudiadas con respecto a su investigación, montajes piloto y plantas instaladas. Los valores de entrada corresponden a la asignación de cada tecnología en la siguiente escala:

0: Tecnología en desarrollo, laboratorio y pequeñas plantas piloto.

1: Existe alguna planta industrial con otros tipos de residuos. (Pirólisis y Gasificación).

2: En operación comercial con alguna experiencia.

3: Varias plantas industriales en operación sin muchos problemas (Combustión en lecho fluidizado).

4: Tecnología madura con muchas referencias y con residuos muy variados. (Combustión). [Sánchez, 2004].

Los valores más altos corresponden a tecnologías más maduras, por lo tanto la matriz de valoración asignó un mejor puntaje a las alternativas con la cantidad numérica mayor.

Generación de subproductos de valor agregado: corresponde a la cantidad de subproductos generados por cada alternativa tecnológica. Esta cantidad se calculó por medio de balances de masa, utilizando la misma base de cálculo de las emisiones para el balance de masa.

Pre tratamiento: se evaluó con respecto a los equipos necesarios en cada proceso y calculando el costo total. Sin embargo, en la matriz de Características Físicoquímica la BRCA cumplió la mayoría de requerimientos para las tres tecnologías, por lo tanto solo se evaluaron los costos de almacenamiento durante las épocas sin cosecha de arroz. Los valores de los equipos necesarios se calcularon mediante correlaciones desarrolladas para las alternativas estudiadas. Para hallar estos valores se consideró el proceso como una caja, donde el flujo de entrada corresponde a la cantidad de BRCA, y el flujo de salida corresponde al flujo de energía producida (W_{NE}). El valor de W_{NE} es calculado a partir del flujo de masa (M), la eficiencia del proceso (η_e), el Poder Calorífico Inferior del residuo (PCI) y las horas de operación anuales de operación de la planta, que se asumieron como 8000 teniendo en cuenta un mes para mantenimiento. La relación utilizada para el cálculo de W_{NE} se muestra en la ecuación 1. [Caputo, et al, 2004].

$$W_{NE} = \frac{M \times \eta_e \times (W_{NE}) \times PCI}{8600 \times HO} \quad (1)$$

Donde:

$M = t \text{ año}^{-1}$; flujo de masa.

$PCI = kJ \text{ kg}^{-1}$, Poder Calorífico Inferior.

$HO = h \text{ año}^{-1}$, Horas de Operación de la planta.

Postratamiento: se determinaron los procedimientos que se deben realizar después de llevar a cabo cada tratamiento térmico, para la producción de energía eléctrica. Se calcularon los costos de cada equipo, utilizando la ecuación y las correlaciones mencionadas anteriormente, la sumatoria de los costos de postratamiento se toma como dato de entrada para la evaluación, donde las alternativas se valoran por su bajo o alto costo.

Área requerida: se estudió la cantidad de terreno requerida por cada tecnología, utilizando como datos de entrada un estudio previo para las tres alternativas con capacidades iguales de 150000 t/año, [Sánchez, 2004]. Se ponderó la tecnología con menor requerimiento de área como la mejor (1), y la de mayor requerimiento como la peor opción (2).

Riesgos: se analizaron los riesgos existentes en cada una de las plantas. Se tuvieron en cuenta los siguientes riesgos: 1) Exposición a temperaturas ambientales extremas, 2) Enfermedades causadas por agentes químicos, 3) Contacto térmico, 4) Enfermedades causadas por agentes biológicos. La evaluación de los riesgos se hizo mediante la metodología INSHT, que permite una adaptación de valores para los cuales no se tiene un conocimiento previo o un nivel de probabilidad, [Llimona, et al, 2004]. Se estudió la probabilidad de cada uno de los riesgos mencionados anteriormente para cada alternativa, ubicándolos según la tabla 5.

Tabla 5. Significado de nivel de intervención de los riesgos evaluados.

Nivel de riesgo y de intervención	Nivel Riesgo	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Corrección urgente
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
IV	20	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique

Fuente: Llimona, et al, 2004.

Capacidad mínima de operación: se comparó la capacidad mínima en la que la tecnología es económicamente rentable. Se expresa en kW y representa mejores mercados y adaptabilidad de la tecnología a las condiciones locales de la BR. Esta capacidad mínima se tomó de la literatura, pues corresponde a datos industriales, y sus valores se compararon entre sí para ordenar en forma ascendente la que requiera mayor cantidad de residuo a la que necesite la menor cantidad, que al final será la más valorada.

Los indicadores analizados para el criterio económico fueron:

Costos de construcción: dependen de su localización y de los precios de los materiales en el momento de su construcción. Para determinar estos costos se

utilizó la base de índices de Chemical Engineering Plant Cost Index, [Chemical Engineering, 2007 y el método basado es estimativos de estudios anteriores [Peters and Timmerhaus, 1968]. Los valores de los costos de construcción se determinaron con la misma base de cálculo para las tres tecnologías, para el año 2007 y mediante el modelo matemático de la ecuación 2.

$$I_N = I_B \left(\frac{Q_N}{Q_B} \right)^M \left(\frac{PCI}{PCI_{QBASE}} \right) \quad (2)$$

I_N : precio en el año determinado (2007)

I_B : costo en el año base

Q_N : capacidad en el año determinado

Q_B : capacidad en el año base

PCI: Plant Cost Index en el año determinado

PCI_{Qbase} : Plant Cost Index en año base [Peters and Timmerhaus, 1968]. Los índices empleados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Datos utilizados en el cálculo de los costos

Alternativa Tecnológica	Año	Plant Cost Index	Capacidad EA (kg/h)
Combustión	2005	468,2	10000,00
Pirólisis	2007	525,0	1041,66
Gasificación	2003	401,7	15000,00

Con los valores obtenidos se ordena de forma ascendente las alternativas, dando mayor importancia a la tecnología de menor costo de construcción.

Costos de mantenimiento: son evaluados con la metodología descrita anteriormente y están expresados en US\$/kWh.

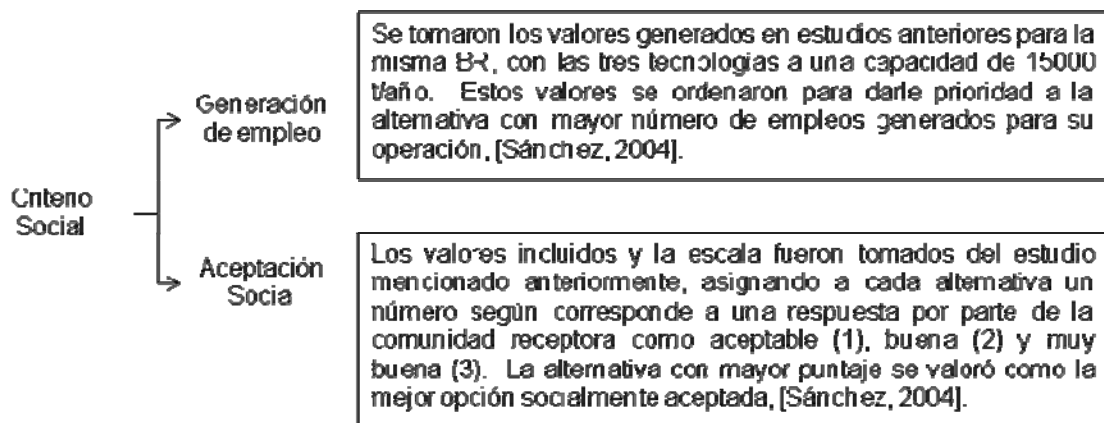
Costos de Producción: se analizaron los principales elementos que intervienen en los costos anuales de operación como: el personal, la energía y el transporte de la BR estimados a partir de los usos previsible. Las unidades de comparación utilizadas son costos de producción anuales en dólares por kWh producido en la planta (US\$/kWh). Esta información se obtuvo de fuentes secundarias. Con los valores obtenidos se asignaron valores de preorden de forma ascendente a las alternativas con menor costo anual de operación.

Eficiencia de la tecnología: estos valores fueron tomados de industrias con el mismo residuo y la misma tecnología utilizada. Se ponderó con los mejores valores a las alternativas que presentaron eficiencias altas, posteriormente se ordenaron de manera descendente según los valores expuestos en cada tecnología.

La figura 4 presenta la descripción de los factores que involucran el criterio social.

Algunos de estos criterios tienen en cuenta estudios anteriores, porque corresponden a factores que deben ser analizados en la práctica industrial. Otros indicadores son calculados mediante bases de cálculo iguales para permitir una comparación lógica y coherente dentro del método a diseñar.

Figura 4. Criterio Social



Método: El diseño, construcción e implementación de la HMVST, se compone de dos etapas fundamentales: el cálculo del factor de importancia (W) y las matrices de valoración.

Inicialmente se requiere generar los valores calificativos W para cada uno de los indicadores, comenzando del nivel inferior al superior, como se muestra en la figura 5.

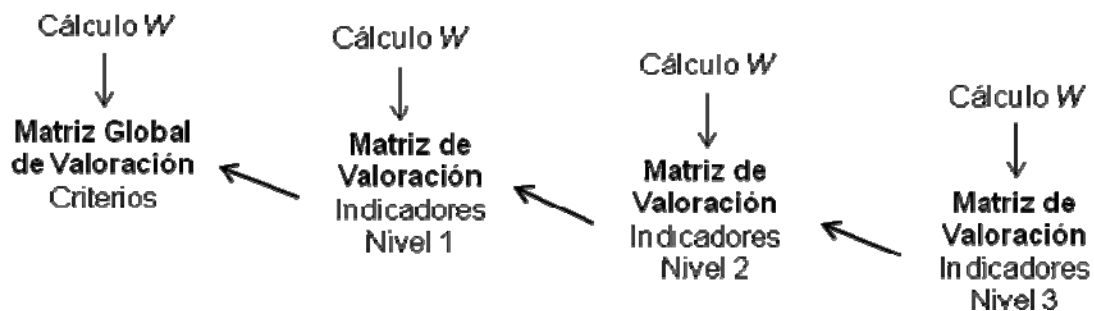


Figura 5. Orden del cálculo y uso de las matrices de valoración según los niveles de la HMVST.

La calificación cualitativa de indicadores, requirió la asignación de escalas propias; con el fin de generar un preorden que se evaluó de igual forma que los valores cuantitativos. Se construyó un macro en Excel, que permito evaluar cada tecnología, a partir de las funciones de comparación previamente definidas.

RESULTADOS

Al implementar la HMVT para la BRCA se obtuvieron diferentes jerarquías según los criterios evaluados, de esta forma es posible analizar la conveniencia o no de cada alternativa desde el punto de vista ambiental, tecnológico, económico o social. El resultado final es la jerarquía de las tecnologías con la integración de los cuatro criterios analizados.

En la tabla 7 se muestra para las tres tecnologías bajo estudio, el resultado del criterio ambiental.

Tabla 7. Matriz de evaluación de las alternativas para el criterio ambiental.

Alternativa Tecnológica	Factor de Importancia			Puntaje	Clasificación
	0,58	0,31	0,11		
	Descargas	Entorno afectado	Contaminación sonora		
	Número de Orden Parcial				
Combustión	1	3	2	1,73	2

Pirólisis	3	1	1	2,16	3
Gasificación	2	1	1	1,69	1

Fuente: propia

Según el preorden de clasificación, la Gasificación obtuvo el mejor puntaje para ser la alternativa más conveniente en el aspecto ambiental para ser aplicada a la BRCA. En esa tabla se puede observar el factor de importancia dado para cada uno de los criterios que componen el criterio ambiental.

En la evaluación tecnológica de las alternativas energéticas se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 8.

Tabla 8. Matriz de evaluación de las alternativas para el criterio tecnológico.

Alternativa Tecnológica	Factor de Importancia		Puntaje	Clasificación
	0,75	0,25		
	Materia Prima	Proceso		
	Número de Orden Parcial			
Combustión	1	1	1,75	1
Pirólisis	3	2	5,00	3
Gasificación	1	3	2,25	2

Fuente: propia

La combustión, según los resultados, es la mejor alternativa, seguida por la gasificación y por último la pirólisis. La combustión presenta ventajas en infraestructura, madurez y características fisicoquímicas entre otros indicadores. Es evidente que la pirólisis se encuentra en desventaja frente a las otras alternativas, debida principalmente a la poca madurez que presenta esta tecnología. La tabla 9 muestra los resultados de la evaluación económica implementando la herramienta construida.

Tabla 9. Matriz de valoración para el criterio Económico.

Alternativa de Tratamiento	Factor de Importancia		Puntaje	Clasificación
	0,75	0,25		
	Costos	Eficiencia de la Tecnología		
	Número de Orden Parcial			

Combustión	1	1	1,00	1
Pirólisis	3	1	2,50	3
Gasificación	2	3	2,25	2

Fuente: propia

La combustión es seleccionada nuevamente como la mejor opción a implementar. Como segunda opción se presenta la gasificación y por último la pirólisis, que por presentar niveles bajos de capacidad de producción, eficiencia entre otros, no obtiene valores suficientes para su óptima ponderación. Sin embargo los costos de los subproductos podrían compensar un poco la inversión realizada para un proceso como este, sin embargo no es la alternativa más adecuada económicamente.

En la tabla 10 se presentan los resultados de la aplicación valorativa para el criterio social.

Tabla 10. Matriz de Valoración para el criterio social.

Alternativa Tecnológica	Factor de Importancia		Puntaje	Clasificación
	0,75	0,25		
	Generación de empleos	Aceptación social		
	Número de Orden Parcial			
Combustión	2	1	3,25	2
Pirólisis	1	2	2,00	1
Gasificación	2	2	3,50	3

Fuente: propia

La pirólisis se muestra como la opción más favorable, teniendo en cuenta el factor de importancia con que fue comparada la generación de empleos, pues es la alternativa que más fuentes de empleo crea. La combustión por ser aceptada socialmente, pues son sistemas ya implementados y su cambio se ve reflejado en una oposición social, se pondera en el segundo lugar. Por último se encuentra la gasificación como última opción a implementar.

Los resultados obtenidos al aplicar la herramienta de valoración desarrollada para la selección de alternativas energéticas en el aprovechamiento de la cascarilla de arroz, se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Matriz Global de Valoración

Alternativa	Factor de Importancia				Puntaje	Jerarquía
	0,58	0,26	0,12	0,05		
	Criterio Ambiental	Criterio Tecnológico	Criterio Económico	Criterio Social		
	Puntaje Valoración Parcial					
Combustión	2	1	1	2	1,63	2
Pirólisis	3	3	3	1	2,90	3
Gasificación	1	2	2	3	1,47	1

Fuente: propia

Se puede observar el resultado final de la valoración, donde la gasificación se ubica en primer lugar de la Jerarquía, la combustión es la segunda opción y por último la pirólisis.

Además de los resultados obtenidos en cada matriz para la clasificación, también se obtuvieron los factores de importancia con que fueron valorados todos los indicadores en las matrices de valoración por criterios y en la global, se pueden observar encima de cada uno de los indicadores que componen las matrices.

CONCLUSIONES

- Se seleccionaron cuatro criterios principales para la evaluación de las alternativas tecnológicas para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz, que son: ambiental, tecnológico, económico y social. Además se asignaron los correspondientes conjuntos de indicadores que constituyen cada criterio, su escala de comparación y de evaluación, ya sea cualitativa o cuantitativa.

- Se diseñó una herramienta valorativa compuesta por un factor de importancia que pondera cada uno de los criterios o indicadores, según corresponda a la evaluación. Junto con matrices de valoración que asignan a cada dato de entrada de cada tecnología, una escala evaluativa por medio de funciones de comparación, que ponderan las tecnologías en orden descendente según su mejor implementación al residuo estudiado.
- Se obtuvo como resultado las cuatro matrices de cada criterio que seleccionan las alternativas según el aspecto evaluado, así la combustión es la mejor opción tecnológica y económica, la pirólisis se muestra como la mejor alternativa social y la gasificación como la mejor ambientalmente. La mejor alternativa a implementar para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz es la Gasificación, según el conjunto de resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABEAB H., KATAYAB A., SAHB B., TORIUB T., SAMYF S., PHEACHF P., ADAMSG M., GRIERSONA P. Potential for rural electrification based on biomass gasification in Cambodia. *Biomass & Bioenergy*, vol 31, pág. 656 – 664. (2007).
2. CAO G., ZHANG X., GONG S., ZHENG F. Investigation on emission factors of particulate matter and gaseous pollutants from crop residue burning. *Journal of Environmental Sciences*, vol 20, pág. 50 – 55. (2008).
3. CAPUTO A., PALUMBO M., PELAGAGGE P., SCACCHIA F. Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables *Biomass and Bioenergy*, vol 28, pág. 35–51. (2004).
4. CARDONA A., SÁNCHEZ O., MONTOYA M., QUINTERO J. Producción de etanol carburante: material lignocelulósico una nueva alternativa. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, vol II, No. 1. (2005).
5. CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX, 2007.
6. CONESA V. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. España, pág. 70-89. (1997).
7. Decreto 02 del 11 de Enero de 1982. Emisiones atmosféricas. Ministerio de Salud. Colombia.
8. Decreto 12 de 1194. Por el cual se clasifica la actividad de la industria transformadora y se dictan disposiciones generales sobre las condiciones de funcionamiento en los establecimientos. Alcaldía Mayor de Santa Fé de Bogotá. Colombia.
9. Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.
10. Decreto 948 del 5 de Junio de 1995. Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente. Colombia.
11. DUARTE S., ANCÍZAR E., CASTILLO E., ORDUZ J., HERNÁNDEZ E., GUTIÉRREZ H., ESPALZA M., RINCÓN I., SALAS G., Valoración de

- Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de las Aguas Residuales en la Ciudad de Bogotá. Memorias IX Seminario Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2005).
12. ESCALANTE H., ORDUZ J., LAVERDE D., ZAPATA H., YEPES L. Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Memorias Tercer Congreso Internacional de Bioenergía, Curitiba, Brasil. (2008).
 13. GANESH A., BANERJEE R. Biomass pyrolysis for power generation - a potential technology. *Renewable Energy*, vol 22, pág. 9 – 14. (2001).
 14. GARCÍA M., PENEDO M., GARDÍA H., CASÍN A. Obtención de fracciones líquidas a partir de la pirólisis del bagazo de caña. *Tecnología Química*, vol 19, Nº 3. (1999).
 15. HIDALGO F. Análisis Multicriterio para la óptima ubicación de una central de energía a partir de biomasa en Andalucía. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla. (2002)
 16. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Energía de la biomasa. *Manuales de Energías Renovables*, 2. pág 54-99. (2007)
 17. JI-LU Z. Bio-oil from fast pyrolysis of rice husk: Yields and related properties and improvement of the pyrolysis system. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol 80, pág. 30-35. (2007).
 18. LLIMONA J., ABAD J., MONDELO P. Evaluación de riesgos laborales: Metodología CEP-UPC. Memorias 3rd International Conference on Occupational Risk Prevention. (2004).
 19. MCKENDRY P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, vol 83, pág. 37-46. (2002).
 20. MCKENDRY P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, vol 83, pág. 47-54. (2002).
 21. MCKENDRY P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. *Bioresource Technology*, vol 83, pág. 55-63. (2002).
 22. MARTÍNEZ E, ESCUDEY M. Evaluación y Decisión Multicriterio, Reflexiones y Experiencias. Editorial de la Universidad de Santiago de Chile. Chile. (1998).

23. MATSAMURA, Y., MINOWAB T., YAMAMOTOC H. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. *Biomass & Bioenergy*, vol 29, pág. 347 – 354. (2005)
24. PETERS M., TIMMERHAUS K. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Mc Graw-Hill International Editions. Pág. 150-215. (1968).
25. Resolución Número 601 de 04 de abril de 2006. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.
26. Resolución Número 627 de 07 de abril de 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.
27. ROMERO C. *Teoría de la Decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Alianza Universidad Textos, Alianza Editorial S. A., Madrid. (1993).
28. ROYO J., GARCÍA D., SEBASTIÁN F., CANALÍS P. *La Co-Combustión: una alternativa para incrementar la contribución de la biomasa en el mercado eléctrico español*. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE). Universidad de Zaragoza. (2002).
29. SANCHÉZ F. *Memorias Curso de Gestión de Residuos Municipales*. Federación de Municipios de Catalunya. (2002).
30. VALVERDE A., SARRIA B., MONTEAGUDO J. *Análisis Comparativo de las Características Fisicoquímicas de la Cascarilla de Arroz*. *Scientia et Technica*, No. 37, pág. 255- 260. (2007).
31. WILLIAMS P., NUGRANAD N. Comparison of products from the pyrolysis and catalytic pyrolysis of rice husks. *Energy*, vol 25, pág. 493-513. (2000).
32. YIN X., ZHI C., PENG S., CHEN Y. Design and operation of a CFB gasification and power generation system for rice husk. *Biomass and Bioenergy*, vol 23, pág. 181 – 187. (2002).