

“Metodología para el aprovechamiento energético de biomasa en Cuba”.

Autores: Andrade Gregori, M.⁽¹⁾; Pérez- Navarro Gómez, A.⁽²⁾; Alfonso Solar, D.⁽²⁾; Perpiña, Catillo C.⁽²⁾; Tamayo López, Y.⁽¹⁾; Rojas Mazaira, L.⁽¹⁾; Armas Cardona, R.⁽¹⁾; Gámez Rdguez., A.⁽¹⁾; Peñalvo López, E.⁽²⁾.

⁽¹⁾ **Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. (InSTEC). Quinta de los Molinos. Ave Salvador Allende y Luaces. Plaza de la Revolución. Ciudad de la Habana. Cuba. Teléfono: (537) 878 5018.
e-mail: mdolores@instec.cu.**

⁽²⁾ **Instituto de Ingeniería Energética (IIE), Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera S/N. 46022. Valencia. España. Teléfono: +34963877270; Fax: +34963877272.
e-mail: elpealpe@upvnet.upv.es.**

Resumen: En un país agroforestal como Cuba se producen muchos residuos de cultivos como el café, el cítrico, el tabaco, y en mayores cantidades de arroz y de la caña de azúcar, además de los residuos forestales en las crecientes extensiones boscosas. La biomasa es un recurso autóctono que proporciona independencia energética y desarrollo local. La creciente tendencia a la generación distribuida y al desarrollo de tecnologías para la producción de un combustible limpio que puede ser utilizado para la generación de calor y electricidad, incrementa la viabilidad de utilización de estos residuos aprovechables.

En el trabajo se muestra las potencialidades con que cuenta el país para la implementación de proyectos renovadores, enunciando los diversos impactos que se avizoran con la utilización de este recurso renovable para la producción de energía. Se definen los contenidos de una metodología de aprovechamiento energético de biomasa en Cuba, que contempla estudios de: Identificación, cuantificación y caracterización previa de la biomasa disponible con fines energéticos (incluye análisis de dispersión y estacionalidad), logística, transportación y factores socioeconómicos con vistas a evaluar las mejores ubicaciones de plantas bioenergéticas o centros de almacenamiento de aportación de biomasa; selección y validación de las mejores tecnologías de conversión, se incluye el diseño mecánico, la modelación y la simulación computacional de instalaciones experimentales y plantas pilotos

de sistemas de gasificación de biomasa. A modo de ejemplo, se aplica la metodología en un municipio seleccionado, empleando como herramienta para la evaluación de distancias, tiempo y biomasa transportada, los Sistema de Información Geográfica (S.I.G), utilizando el software ArcGis 9.1.

Palabras claves: Biomasa, Metodología, Logística y transportación, Plantas bioenergéticas, Gasificación.

Introducción. En un país agroforestal como Cuba se producen muchos residuos de cultivos agrícolas y forestales. En la actualidad se han introducido en el país nuevas especies de árboles maderables que ofrecen el mejor rendimiento de biomasa por hectárea en el menor tiempo posible. Los eucaliptos presentan las mejores opciones por la rapidez de las plantaciones comerciales a crecimiento, sus múltiples usos y disponibilidad de tecnologías muy eficientes.

La distribución heterogénea de los residuos biomásicos en un territorio, hacen muy difícil la gestión de la logística y transportación y la creación de una infraestructura que haga viable y sostenible su implementación con fines energéticos. Existe una tendencia a minimizar sus efectos olvidando la cadena energética, en la cual están involucrados gastos de combustibles fósiles en la transportación de los residuos, desde su origen hasta su destino donde la biomasa es procesada en la instalación energética, así

como la cultura de seguridad en la explotación de estos recursos asociada con la relación dialéctica desarrollo - energética - medio ambiente. En Cuba constituye un problema preocupante el bajo aprovechamiento de la biomasa forestal y la probabilidad de incremento de la erosión provocada por este proceso. No se conoce que se haya realizado estudios con alto grado de detalle, para lograr un máximo aprovechamiento de estos residuos.

En el presente trabajo se muestra el alcance real de las dimensiones y potencialidades con que cuenta el país para enfrentar, desarrollar y fomentar el uso de la biomasa forestal y agrícola como recurso capaz de reemplazar el combustible fósil para la generación de energía. Se logra determinar dónde radican las mayores concentraciones de comunidades poblacionales que no cuentan con el servicio del Sistema Electro Energético Nacional (**S.E.N**), factor que incide directamente en el desarrollo económico y social de esas poblaciones. Además, se da una panorámica de los niveles de biomasa disponibles en las diversas provincias que posibiliten la implantación de proyectos renovadores [1,2], como paliativo para las carencias de energía, enunciando los diversos impactos que tiene este recurso renovable para la producción de energía.

Como fruto de los proyectos de colaboración interuniversitaria entre el Instituto de Ciencias y Tecnologías Aplicadas de la Habana y la Universidad Politécnica de Valencia [3], se definen los contenidos de una metodología de aprovechamiento energético de biomasa en Cuba, que contempla estudios de: Identificación, cuantificación y caracterización previa de la biomasa disponible con fines energéticos (incluye análisis de dispersión y estacionalidad); logística, transportación y factores socioeconómicos con vistas a evaluar las mejores ubicaciones de plantas bioenergéticas o centros de almacenamiento de aportación de biomasa; selección y validación de las mejores tecnologías de conversión, se incluye diseño mecánico, modelación y simulación computacional de instalaciones experimentales y plantas pilotos de sistemas de gasificación de biomasa. A

modo de ejemplo, se aplica la metodología en el municipio de San Juan y Martínez, como herramienta fundamental se emplea los Sistemas de Información Geográfica (**S.I.G**) y el software utilizado es el ArcGis 9.1 que permite realizar una evaluación de tiempos, biomasa transportada y distancias de las rutas obtenidas a partir del tipo de análisis de redes con vistas a lograr el máximo aprovechamiento de la biomasa forestal.

Metodología para el aprovechamiento energético de biomasa en Cuba. Los contenidos de la misma son:

1. Potencial de biomasa con fines energéticos: Identificación, cuantificación y caracterización de la biomasa (incluye análisis de dispersión y estacionalidad).
2. Demandas energéticas en el país. (de acuerdo a la cantidad de comunidades aisladas del **S.E.N.**) y necesidades industriales y comerciales.
3. Evaluación de las mejores ubicaciones de plantas bioenergéticas o centros de almacenamiento de aportación de biomasa utilizando los **S. I. G**. [4],
4. Selección y validación de las mejores tecnologías de conversión: incluye diseño mecánico, modelación y simulación computacional de instalaciones experimentales y plantas pilotos.
5. Estudio de impactos y consecuencias de aplicar la tecnología.

Este estudio refuerza la idea de obtener un óptimo aprovechamiento de la biomasa residual agrícola y forestal en el municipio seleccionado. El objetivo principal es el desarrollo y la aplicación de la metodología aplicada a "Logística y transporte" con el fin de localizar los emplazamientos óptimos de centrales bioenergéticas o centros de almacenamiento temporal de biomasa.

Para dar respuesta a las necesidades anteriormente mencionadas se utiliza el software ArcGis 9.1, que incluye la extensión Network Analyst que permite realizar el

análisis de redes, una vez definido un modelo de datos de información geográfica mediante la generación de una geodatabase. [5].

1. Potencial de Biomasa forestal con fines energéticos:

El potencial de biomasa es la cantidad de recursos de biomasa disponibles con que cuenta el país para poner en práctica el empleo del mismo en la obtención de calor y electricidad. Las principales fuentes de biomasa forestal como combustible son: productos de raleo, plantaciones energéticas y potencial maderable no utilizado del manejo de los bosques y plantaciones existentes. El incremento anual de las plantaciones energéticas está entre 10 - 12 m³/ha/año, siendo la Estrategia Ambiental Nacional hasta el 2010 incrementar la cubierta forestal hasta 2,943 576 ha, de modo que el índice de boscosidad en el país, sea de 26,7% [6].

En la actualidad, los bosques y sus residuos forestales, así como los residuos del procesamiento de la madera, constituyen un recurso aprovechable con fines energéticos, aspecto que toma en cuenta, los altos costos del petróleo como combustible fósil y las grandes emisiones propiciadas por tecnologías consumidoras por este tipo de combustible. El consumo tradicional de madera como combustible a nivel mundial asciende a 1,777 millones de metros cúbicos, equivalentes a 600 millones toneladas de combustible fósil. En Cuba se realizó un estudio del potencial de biomasa forestal a partir de las fuentes siguientes: bosques y plantaciones, marabú y residuos de la industria forestal. Los resultados muestran un potencial de 5,088 mil toneladas anuales de biomasa cuyo uso representa un ahorro de 1,500.0 mil toneladas de combustible equivalentes/año. [7].

En la actualidad el 73 % del potencial nacional corresponde a siete provincias y la Isla de la Juventud. Las provincias de Camagüey, Pinar del Río y Matanzas contienen el 40.8 % de los bosques naturales, las dos primeras unidas a Holguín tienen el 44.3% de las áreas para la plantaciones. Pinar del Río, dado su potencial forestal es la provincia que a nivel de país posee la mayor capacidad de generación de

biomasa con fines energéticos, cuenta con el 38 % de la reserva forestal del país, alrededor de 200 mil m³/año son talados en este territorio.

De acuerdo a las proyecciones hasta el 2015, el país tendrá un patrimonio forestal de 74,6 % del área cubierta y se pronostica que la provincia de Pinar del Río tendrá aproximadamente 250 miles de toneladas de madera para combustible. De esta provincia el municipio San Juan y Martínez contiene una superficie total de 41,100.0 ha, de ello 18,972.6 ha es patrimonio forestal, representando un 46 % de la superficie total, con un índice de boscosidad del 30.0 %. [8].

Identificación, tipificación y caracterización:

Se identifican los tipos de recurso biomasa, posibles clasificaciones de acuerdo a su origen, el proceso generador que los produce, así como el empleo actual de estos recursos. Se realiza la caracterización física y química de los recursos empleados para estudiar la viabilidad de su aplicación energética. Los parámetros básicos son: humedad, cenizas, contenido en volátiles, poder calórico superior e inferior y densidad aparente.

Se determinó el potencial de los recursos biomásicos de diferentes entidades generadoras, una de ellas, lo constituye la Empresa Forestal Integral (E.F.I) Pinar del Río la cual se encuentra localizada en el km 3 ½ Carretera Luis Lazo, y el otro fue el Combinado de Cítricos situado en el km 1 ½ Carretera La Coloma, ambos del municipio de Pinar del Río. Los recursos estudiados, así como el origen, y destino se presentan en la tabla 1:

Tabla 1. Identificación de los recursos de biomasa.

Recursos	Proceso generador	Residuos	Destino
Residuos forestales	Tratamiento silvícola	Ramas, raíces y leña	Se dejan en el campo
Residuos de industrias	Aserraderos	Leña, costanera y aserrín	No se usan para energía
	Extracción de jugos	Hollejo	Alimento animal

El Combinado de Cítricos fue otra entidad generadora que se estudió para determinar el potencial de biomasa con fines energéticos, en este caso el hollejo. Este recurso fue descartado debido a que constituye actualmente alimento para animales y es

trasladado a las Empresas Pecuarias, Camilo Cienfuegos y Punta de Palma, aunque se estudia con fines energéticos.[9]

Cuantificación aproximada de la biomasa disponible: La cuantificación se realiza mediante estimaciones basadas en:

Coeficiente de generación superficial = Tm residuos/ha realizadas.

La producción de residuos por hectárea, se estima en un grado de 10 % del total, los cuales actualmente se dejan en el campo y no son aprovechados constituyendo un factor importante en la ocurrencia de incendios forestales.

Los datos sobre producción de biomasa residual disponible, superficie, ubicación en el campo, así como de la actividad de la industria maderera que se utilizaron fueron tomados de la estadística de Empresa Forestal de Pinar del Río. Se necesitó información cartográfica de la zona de estudio como zonas urbanas, red de comunicaciones, bosques, límites municipales, entre otros. A partir de estos se elaboró una base de datos en Microsoft Access.

Análisis de dispersión / producción zonal: Este análisis está basado en la ubicación de fuentes puntuales generadoras de biomasa residual. Permite obtener un mapa de densidad superficial de biomasa que combinado con la caracterización previa (humedad, poder calórico y densidad), se transformará en un mapa de densidad energética de biomasa en el área de estudio.

Dicha base de datos contiene las características de los rodales en cuanto a categoría de área, categoría de bosques, área, volumen, densidad, edad, corta, formación boscosa, etc.

Los rodales son áreas forestales limitadas por factores naturales Ejemplo: ríos, arroyos, áreas protegidas, viales, áreas residenciales, contornos de vegetación, etc. Los lotes comprenden un área mayor y está definido por varios rodales. Y por último la unidad silvícola comprende la suma de todos los lotes. Estos tienen asociado una base de datos cartográfica creada a partir de los mapas del área de estudio por lo que se encuentran ubicados geográficamente y codificados en un mapa cartográfico a escala 1/100 000,

Ejemplo: 0111010305600005, esto significa provincia de Pinar del Río (01), EFI Pinar del Río (1101), Unidad Silvícola San Juan y Martínez (03), lote (045) y rodal (00005).

El análisis se efectúa considerando los rodales ya pre-establecidos por a los cuales se les realizó el tratamiento silvícola, y están considerados como superficie mínima de aporte de biomasa, por lo que requiere de la utilización de un **S. I. G.** La información cartográfica de San Juan y Martínez abarca parte de Pinar del Río, San Luis, Guane, Sandino y San Juan y Martínez. El sistema de referencia geodésico es el sistema oficial D_NAD27-CU.

A partir de aquí se elaboró un mapa de densidad superficial de biomasa utilizando la base de datos cartográfica, e incluyendo a la capa (grupos de coordenadas que definen la ubicación de objetos espaciales) de rodales, este coeficiente de generación. Para obtener la representación gráfica de los datos espaciales, se utilizó la herramienta de graduación de colores, la cual despliega las entidades usando una gama de colores para datos numéricos que tienen una progresión, es decir, la distribución del coeficiente de generación de biomasa de menor a mayor, con la graduación de colores.

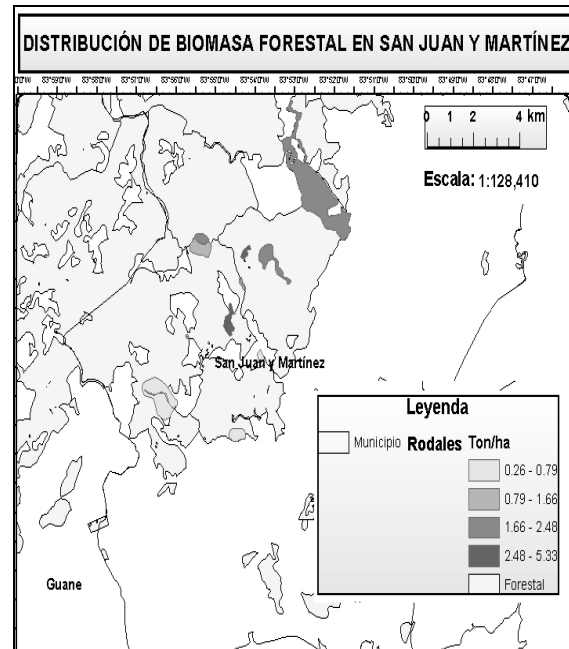


Figura 1. Mapa de densidad superficial de biomasa.

Análisis de estacionalidad: Este análisis se basa en las pautas de producción y mantenimiento de las actividades agrarias e industriales generadoras de biomasa

(recolección, poda, y otros). Para realizar el estudio de estacionalidad al municipio de San Juan y Martínez, se tuvo en cuenta las estadísticas de varios años [10], en la que se muestra que la biomasa disponible como resultado del tratamiento silvícola en las estaciones de corte y mantenimiento de los rodales es de 472,46 toneladas de biomasa anuales, y las mayores cantidades se recogen en los meses de: enero, febrero, mayo, agosto, octubre y diciembre, con un promedio mensual entre 60 y 80 toneladas de biomasa.

2. Demandas energéticas.

En el país existen 172 comunidades aisladas, siendo las provincias de Guantánamo y Granma las de mayores cantidades, por lo que se requiere potenciar el estudio de las posibilidades reales para enfrentar esta problemática y darle solución a esta necesidad energética. En la actualidad muchos de los hospitales y tintorerías del país poseen al menos una caldera para producir calor y vapor ya sea para cocinar, ofrecer servicios de lavandería o para otras actividades.

En la provincia de Pinar del Río existen 4 comunidades aisladas y en el municipio de San Juan y Martínez hay 3 grandes consumidores aledaños al área forestal como son: Tintorerías, Hospitales y Policlínicos para aplicaciones térmicas o de cogeneración que hiciesen recomendable la ubicación de la planta. Se realiza el estudio de la distribución de la demanda energética anual de cada consumidor.

3. Evaluación de las mejores ubicaciones de plantas bioenergéticas o centros de almacenamiento de aportación de biomasa.

Para evaluar las mejores ubicaciones posibles de plantas bioenergéticas o centros de almacenamiento de aportación de biomasa se presenta de forma sintetizada un esquema de trabajo, representado en la figura 2. Los datos de entrada se clasifican en: módulo de recursos de biomasa, módulo de logística y módulo de demandas energéticas en el municipio seleccionado.

Los puntos de almacenamiento de biomasa se ubican de forma hipotética en un mapa temático, teniendo en cuenta diversos factores, tanto naturales como artificiales. Para ello se define el escenario con la superposición de las capas de Hidrografía, Viales, Área Forestal, Asentamientos, Áreas

Protegidas, Rodales, Contornos de Vegetación, Elevaciones y Pendientes.

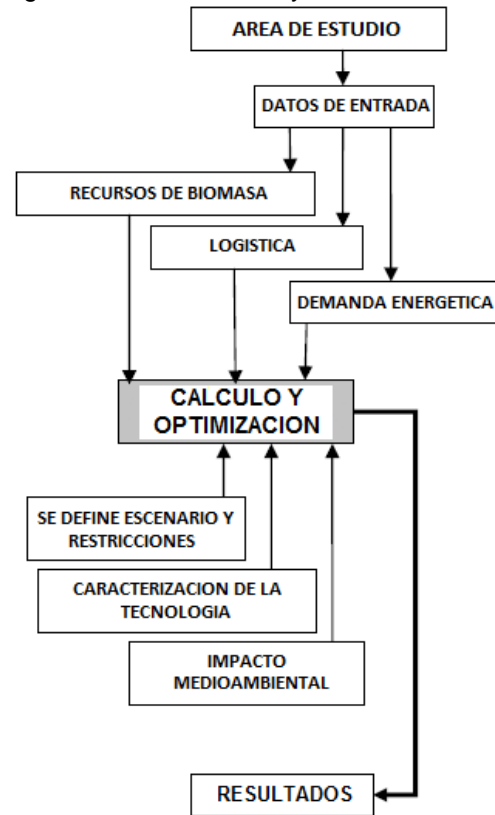


Figura 2. Esquema de organización del flujo de trabajo. [5].

Se tienen en cuenta las restricciones tales como: que estén alejados de zonas húmedas y lagos, áreas protegidas, pendientes menores que un 15 % y cerca de viales (caminos, terraplén, trillo y carreteras). Al aplicar estas restricciones en el territorio de San Juan y Martínez, se obtuvieron: 19 posibles puntos de almacenamiento de biomasa. [11].

Para realizar el análisis de la red de transporte, evaluación de tiempos, distancia, biomasa transportada y costes de transporte, se requiere la utilización de una geodatabase en primera instancia, y posteriormente utilizar esos datos en la extensión Network Analyst del software ArcGis 9.1. Para calcular las rutas se introducen varias informaciones tales como: tipo de vía por la que se transporta la biomasa, velocidad estimada en la vía de acuerdo a lo establecido en la ley 60 para transportación de vehículos pesados [12], tiempo empleado para recorrer cierta distancia a una velocidad determinada y otras.

Se establece el tipo de análisis de redes Closest Facility, puesto que se determinan todas las combinaciones posibles entre las posibles ubicaciones y todos los puntos de

recogida de biomasa de acuerdo a la Impedancia (tiempo) siguiendo como criterio que recorra una distancia en el mínimo tiempo posible.

Una vez conocido el tiempo empleado y la distancia recorrida, de cada punto a los demás, se utilizará el número de viajes (necesario para transportar la biomasa entre dos puntos) como ponderación. El camión ZIL-131, utilizado para este estudio puede transportar 5 toneladas métricas de biomasa compactada, de modo que:

$$\text{No. de viajes} = \text{Biomasa (tn.)} / 5 \text{ (tn.)}$$

Establecidas las premisas que deberán cumplir todos los puntos, se definen los parámetros de la red y posteriormente se procede al cálculo de la misma y con ello se obtiene la distancia y tiempo acumulado entre cada destino (posible ubicación) y cada punto de aportación de biomasa, tal y como se muestran en las figuras 3 y 4, en un caso en trayectorias rectas y en el otro se definen utilizando las rutas reales de comunicación.

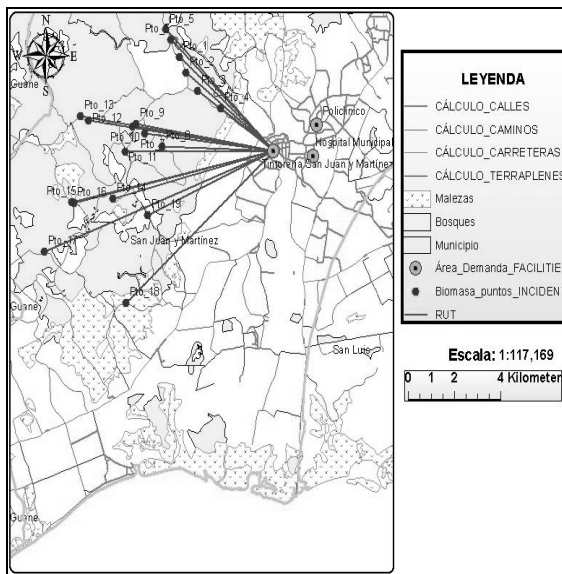


Figura 3. Resultados de la aplicación del método de implementación del SIG en trayectorias rectas.

Como resultados se obtiene que la mejor ubicación de la planta bioenergética estaría en la tintorería San Juan y Martínez, se determina el acumulado de la distancia y tiempo, así como la velocidad media, el costo utilizando la ecuación (1), y el No de viajes empleados en cada uno de los recorridos. La distancia total recorrida es de 2,109 km, con un costo empleado de \$ 421.85 y el costo de la biomasa de 22.32 pesos/ton, teniendo en

cuenta el costo de consumo de combustible en un camión tipo ZIL-131.

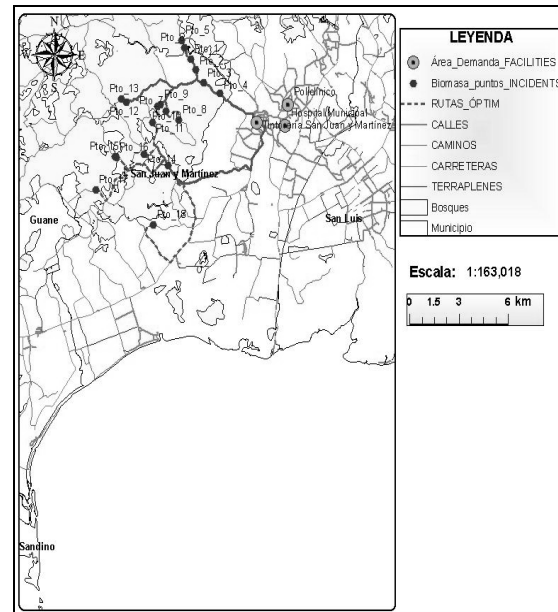


Figura 4. Resultados de la aplicación del método de implementación del SIG en rutas.

$$F_{\text{costo}} = \text{DTR}_i * \text{CD} \text{ (ecuación 1)}$$

donde: CD = consumo de transporte (l/km)*costo (\$/l).

DTR_i = Distancia total recorrida para llevar toda la biomasa desde los puntos de aportación hasta el destino.

4. Selección y validación de las mejores tecnologías de conversión:

La selección de las mejores tecnologías de conversión, depende de las características y cantidad del residuo disponible, así como del aprovechamiento energético que se pretenda dar a los residuos y principalmente de la demanda energética que puede ser térmica, como por ejemplo, la producción de vapor mediante la combustión directa de la biomasa, como es el caso de estudio de la tintorería del municipio San Juan y Martínez, mientras que en otros casos es más interesante la producción de energía eléctrica, existiendo situaciones en las que se combinan ambos tipos de demanda. Entre las nuevas tecnologías puede citarse la gasificación de biomasa para la obtención de un recurso energético, como es el gas pobre.

La condicionante económica también es un factor fundamental y es la que determina realmente la decisión final, unido a ella hay otros aspectos, disponibilidad de personal,

medios técnicos, condicionantes ambientales y otras.

Los datos que se presentan en **WETO 2003 [13]** muestran un futuro muy promisorio para el desarrollo de las tecnologías de gasificación de la biomasa, que dependerá fundamentalmente de muchos factores, entre ellos, la voluntad de los gobiernos a promocionar programas de I+D para el desarrollo de cultivos energéticos y tecnologías más eficientes y limpias de gasificación de biomasa. Como línea de actuación en Cuba se establece un programa de evaluación y validación de sistemas de gasificación de biomasa ya adquiridos y promovidos para cubrir necesidades energéticas en comunidades aisladas en proyección hasta el 2013. [8]

La enorme potencialidad del uso de la técnica de simulación por CFD, así como su bajo costo y su actual disponibilidad relativa, hacen justificable su uso como herramienta de cálculo para llevar a cabo el programa de evaluación y validación de la tecnología de conversión. La simulación computacional se utiliza para prever el comportamiento de un producto, un equipamiento o de un proceso, bajo determinadas condiciones. Se ha comenzado a utilizar ampliamente para estudios conceptuales de nuevos diseños, detección de defectos y rediseño.

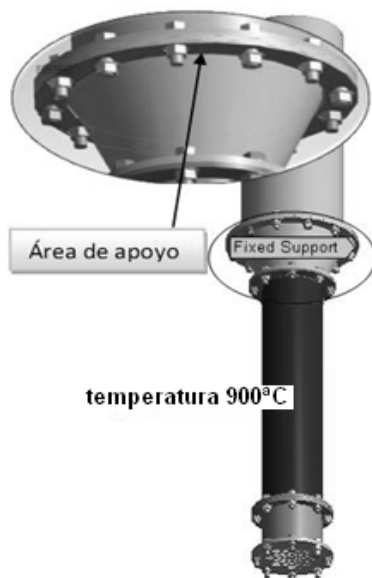


Figura 5. Simulación termo-mecánica de un gasificador experimental de lecho fluidizado.

La secuencia para resolver un problema utilizando la metodología de CFD es la siguiente: definición de la geometría y las propiedades químicas y físicas de los fluidos,

generación de la malla, los modelos matemáticos del comportamiento de los fluidos, especificación de las condiciones de frontera y de los criterios numéricos, cálculo del problema y visualización de los resultados.

A partir de estos resultados obtenidos en CFD se puede diseñar y optimizar un reactor de gasificación, tanto el proceso químico, como luego el diseño mecánico del mismo. A modo de ejemplo se muestra en la figura 5 una simulación termo-mecánica de un gasificador experimental de lecho fluidizado [14].

Se han desarrollado ya en el país modelos que permiten simular el proceso de gasificación de biomasa utilizando software de elementos finitos, cuyos resultados permiten optimizar el proceso variando diferentes parámetros tales como: razón equivalente, temperatura del aire a la entrada del gasificador, diámetro de partículas para diferentes tipos de biomasa, geometría del conjunto tobera – garganta. [15]

5. Estudio de impactos y consecuencias de aplicar tecnologías limpias.

Los aspectos económicos asociados en el empleo seguro y confiable de estas tecnologías, a partir de un enfoque de riesgo es una pregunta actual muy importante en la evaluación de la sostenibilidad de empleo en los países en vías de desarrollo, tomando en consideración las infraestructuras creadas, así como la cultura de seguridad en la explotación de estos recursos aprovechables. El enfoque de riesgo hace que el estudio de factibilidad en zonas seleccionadas sea más integral, considerando la interrogante asociada con la relación dialéctica desarrollo - energética - sostenibilidad ambiental.

Son muchos los impactos y consecuencias de la introducción de estas tecnologías limpias, entre ellos se exponen de forma breve los más relevantes:

Económicos y de seguridad nacional. La inversiones de millones de pesos entre el 2009 y el 2013, permitirá lograr ahorros anuales en combustible de una magnitud similar. La producción de 5,088,9 mil toneladas de biomasa forestal significa un ahorro para el país de 1,542.0 mil toneladas de combustible fósil equivalente que sería necesario para la producción de calor y/o electricidad.

Se incrementa la vitalidad del país ante situaciones extraordinarias al tener cubierta en los próximos años, un elevado % de sus

necesidades de energía primaria con fuentes renovables. [8]

Sociales. En el aspecto social este desarrollo implicaría la aparición de nuevas plazas laborales productivas en el área forestal, de operadores de equipos y en los servicios técnicos. Además, esto traería consigo la necesidad de capacitación de la población, en vistas de obtener un determinado nivel de conciencia. [16]

La realización de cursos de doctorados [17] y maestrías en producción y aprovechamiento de la biomasa como combustible permitiría elevar la calidad de los especialistas. Otros beneficios sociales serían: mejoras de vida y de salud.

Ambientales. Desde el punto de vista ambiental, el empleo de biomasa disminuye la deforestación, se mejoran suelos, se reduce la carga contaminante y las emisiones de CO₂ en 50 mil toneladas anuales, siempre y cuando se cumpla con los planes de reforestación para el mantenimiento de los bosques energéticos y para evitar la posible desertificación de los suelos.

Se implementan planes para el incremento de las superficies de bosques naturales accesibles y susceptibles de utilizarse en la producción (productos forestales: madereros y no madereros), mayormente estos “planes” consisten en el fomento de plantaciones comerciales con fines específicos y altos rendimientos con ciclos de cosecha más cortos y con la utilización de toda la biomasa que se cosecha mediante su transformación industrial. [6]

Entre los riesgos asociados al desarrollo energético, a partir del recurso biomasa están, los incendios forestales y las sequías.

Incendios Forestales. En Cuba, al igual que en el resto del mundo, estos desastres conducen a la afectación de miles de hectáreas de bosques ejerciendo una influencia negativa en la deforestación, la degradación de los suelos, la pérdida de la diversidad biológica y provocando cuantiosas pérdidas económicas e inclusive humanas. El promedio por año de incendios forestales es de 229, con 5,525 hectáreas de bosques naturales y plantaciones afectadas, lo que representa 0,2% de su superficie total. De los incendios forestales reportados 88%, suceden por causas inherentes al hombre, 12 % por procesos naturales (descargas eléctricas), de ahí la necesidad de lograr el cumplimiento

estricto de las medidas adoptadas por el Cuerpo Nacional de Guardabosques del país, acompañado de un mayor trabajo de concientización y educación ambiental de la población.

En el período 1961-1999 se produjeron 9,149 incendios forestales que afectaron aproximadamente 221, 023.0 hectáreas. Desde 1990 hasta 2004, 56% de los incendios forestales ocurridos, se registraron en las provincias de Pinar del Río, Matanzas, Camagüey, Holguín y en el Municipio Especial Isla de la Juventud. En estos territorios se localiza 74% de las áreas dañadas nacionalmente. El periodo crítico de los incendios forestales en Cuba, se inicia en el mes de febrero y se extiende hasta mediados del mes de mayo, y no sólo amenaza los bosques naturales o productores, sino también, los cultivos y otras vegetaciones.

Existen además, afectaciones producidas por la no actualización de la ordenación forestal, el insuficiente tratamiento silvicultural de los bosques e insuficiencias y deficiencias de los planes de manejo.

Sequías. La sequía es un desastre natural, tiene un inicio lento, y demora meses o aún años en desarrollarse. El periodo de seca en Cuba es de Noviembre hasta Abril, producto de este suceso iniciador surgen los incendios forestales y se produce por varios factores: meteorológicos, agrícolas, hidrológicos y sociales. [18]

Tecnológicos. Los avances científicos en el campo de genética y la biotecnología han propiciado el desarrollo de fuentes reproductivas de especies forestales tales como los eucaliptos que multiplican en varias veces los rendimientos que antes se obtenían permitiendo además obtener productos más homogéneos y cualitativamente superiores para los objetivos industriales preestablecidos (madera limpia de nudos, mayor contenido de celulosa, mejor adaptabilidad a sitios extremos, etc.). [8]

Conclusiones.

La aplicación de una Metodología de aprovechamiento energético de biomasa en el municipio seleccionado permitió obtener los siguientes resultados:

- La biomasa forestal disponible con fines energéticos en el municipio San Juan y Martínez es de 472 toneladas como resultado del tratamiento silvícola y que son dejadas en el campo representando una equivalencia de 67 toneladas de petróleo.
- Se elaboró un mapa de densidad superficial de biomasa forestal a escala teniendo en cuenta la biomasa generada en el municipio, empleando los S.I.G. utilizando el software ArcGis 9.1.
- Se determinó que la posible ubicación óptima de la planta bioenergética es en la Tintorería San Juan y Martínez a partir de los estudios realizados de logística, transporte y factores socioeconómicos.

El país cuenta con un potencial de residuos forestales hasta el 2015 que posibilita la implantación de proyectos renovadores tanto en comunidades aisladas como en otros sectores comerciales e industriales, así como generalizar la Metodología a otros municipios.

Los modelos desarrollados utilizando software de elementos finitos permiten simular el proceso de gasificación de biomasa, cuya finalidad es optimizar los sistemas desde el punto de vista energético.

Referencias.

- [1]. Proenza N.; **“Gas pobre: Factibilidad de su uso en los motores ZIL 130”**. Universidad de Camagüey. Dpto. de Mecánica. Cuba, 2009.
- [2]. Pedroso D.; **“Gasificación de madera para producir combustible con bajo contenido de alquitrán en un reactor tipo Imbert”**. Universidad de Oriente, Cuba, 2006.
- [3]. Pérez –Navarro A.; Alfonso D.; Andrade M.; García C.; **“Proyecto BIOMET: Metodología para el aprovechamiento energético de la biomasa en Cuba”**.

- Programas de colaboración interuniversitaria, AECID, 2009.
- [4]. C. Perpiñá et al, **“Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation”**. Renewable Energy, 2009.Vol. 34, Pages 555-565.
 - [5]. Alfonso, D; Perpiñá C., Pérez- Navarro A.; Peñalvo E. **“GIS based advanced biomass integral optimization model for energy applications”**. IIE. Universidad Politécnica de Valencia. Conferencia Internacional de Energía Renovable. Valencia, 2009.
 - [6]. MANUD, **“Proyección: Objetivos estratégicos, acciones y metas hasta el 2010”**. Estrategia Ambiental Nacional 2007/2010.Tema Medio ambiente y energía., 2007.
 - [7]. Padrón R.; Carpio C. **“La biomasa forestal en Cuba como fuente de energía renovable”**. Instituto de investigaciones Forestales. Conferencia Internacional de Energía Renovable, La Habana. Cuba, 2009.
 - [8]. CUBAENERGIA, **“Taller Nacional del Grupo de Biomasa Forestal y Orgánica”**., La Habana, 2009.
 - [9]. Aguiar L, **“Proceso de pirólisis y gasificación de los residuos sólidos de naranja del proceso de obtención de jugo en la provincia de Pinar del Río”**. Revista Mecánica. ISPJAE, La Habana, 2008.
 - [10]. **“Datos estadísticos de la Empresa Forestal Integral Pinar del Río”**. Cuba, 2007-2008.
 - [11]. Tamayo Y., Andrade M., Romero P., Pérez –Navarro A., Perpiñá C. **“Implementación y aplicación de sistemas de información geográfica para lograr un máximo aprovechamiento energético de los recursos biomásicos”**. InSTEC. Conferencia Internacional de Energía Renovable. La Habana, 2009.
 - [12]. Ley 60, **“Código de Vialidad y Tránsito de la República de Cuba.”**, 2002.
 - [13]. Estadísticas de la Comisión Europea **“World energy, technology and climate policy outlook (WETO)”**. páginas 48-49, 2003.
 - [14]. Rosales W., Andrade M., Gámez A., Rojas L. **“Simulación y estudio mecánico e hidrodinámico de un reactor de gasificación de lecho fluidizado”**. Revista Mecánica. ISPJAE, La Habana, 2008.
 - [15]. Rojas L.; Gámez A.; Andrade M.; Armas R.; **“Simulación computacional del proceso de gasificación de biomasa en un reactor de lecho fluidizado”**. InSTEC. Conferencia Internacional de Energía Renovable. La Habana. Cuba, 2009.
 - [16]. García Suárez L.; **“Estrategia para la Educación Ambiental y Energética”**.

Facultad de Gestión de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. InSTEC. CITMA. La Habana, Cuba, 2009.

[17]. Montesino M.; Pérez –Navarro A.; García C.; Gozá O.; y otros. “**Programa de Doctorado Colaborativo en tecnologías Energéticas**”. InSTEC. Conferencia Internacional de Energía Renovable. La Habana. Cuba, 2009.

[18]. “**Conferencia: Áreas protegidas de Cuba y conservación del patrimonio Natural**”, VI Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 2008.

Biografías de los autores principales:

Ma. Dolores Andrade Gregori. (La Habana, 1958).



Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad de Ciencias Técnicas de La Habana. ISPJAE. Cuba. (2007). Ingeniera Química graduada en el año 1981. Máster en Energía Térmica desde el año 1997. Tiene 28 años de experiencia en la docencia y en la investigación, con categorías de Profesor Auxiliar e Investigador Agregado. Ha presentado 36 publicaciones en revistas y eventos Nacionales e Internacionales. Tiene 2 premios a nivel de Organismo y un premio a nivel de Academia de Ciencias. Ha obtenido Premios relevantes y de destacado en Fórum Científico técnicos a nivel Nacional. Puestos Ocupados en la actualidad: Jefe del Grupo de Investigación de Biomasa del InSTEC, Representante por el InSTEC del Grupo de Biomasa Forestal y Orgánica de Cuba, Asesor Docente del Decano del FCTN, Profesora en el Dpto. de Ingeniería Nuclear del FCTN, Investigadora principal del proyecto BIOMET financiado por la AECID de colaboración interuniversitaria entre el IIE y el InSTEC.

Ángel Pérez-Navarro Gómez. (Madrid, 1946).



Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense (1971). Investigador en Energía nuclear (Fisión, Fusión y Transmutación) desde 1968, y en Ingeniería Energética desde 2001. Estancias en Laboratorios Europeos: Max-Planck IPP (Alemania), CERN (Suiza); y USA: Oak Ridge Nat. Lab., Princeton, Plasma Physics Lab, MIT. 60 Publicaciones en revistas internacionales y 103 comunicaciones a congresos. Puestos ocupados: Jefe de Operación del Reactor Rápido CORAL, Junta de Energía Nuclear, Jefe del Área de Fusión del CIEMAT, Vicerrector de Investigación de la Universidad Alfonso X el Sabio, Villanueva de la Cañada, Director del Laboratorio del Amplificador de Energía S.A., Zaragoza, España, Director del IIE de la Universidad Politécnica de Valencia, 2001-2009. Posición actual: Responsable del Grupo de Sistemas Avanzados en Ingeniería Energética (SAVIE) del Instituto de Ingeniería Energética, que incluye I+D+i en Energías Renovables (generación, integración en el sistema productivo, etc.) e Hidrógeno, Profesor en el Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la ETSII de UPV.