



# **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CO-COMBUSTIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO**

POP en Ingeniería Eléctrica y Energética

**Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética**

**Rosa Adriana Domínguez Vega**

Director

**Francisco Javier Royo Herrer**

Curso Académico

2009 - 2010

Septiembre de 2010

## Resumen

Actualmente las centrales de generación eléctrica que utilizan recursos fósiles se enfrentan a grandes retos como la reducción del costo en el producto final y en las materias primas, la reducción en las emisiones contaminantes, así como el reto de alcanzar una mayor efectividad, de ahí la importancia de tomar decisiones y acciones para incrementar la participación de las energías renovables.

Es necesario que el sector eléctrico Mexicano realice una planeación estratégica con el objetivo de modernizar y eficientar su estructura, en este sentido, la incorporación de las energías renovables ha cobrado gran relevancia en la última década.

La utilización de biomasa para co-combustión es una alternativa viable para las centrales termoeléctricas en México que actualmente producen 81,013 GWh a partir de combustóleo y gas natural, aunadas a los 21,198 GWh que se producen con carbón (CFE, 2008). La viabilidad técnica de la co-combustión está ampliamente probada en diversas partes del mundo, además de que presenta ventajas medioambientales y socioeconómicas que conforman un sustento para que las energías renovables penetren cada vez más en el sector energético.

Este trabajo presenta una primera evaluación del potencial de co-combustión a partir de biomasa residual agrícola en México, a través de la estimación y caracterización de la cantidad de biomasa existente y técnicamente utilizable en un área de influencia de 50 km alrededor de 24 centrales termoeléctricas convencionales, utilizando sistemas de información geográfica (SIG).

Una vez analizado el sector eléctrico en general, se presenta como caso de estudio la C.T. "Salamanca" ubicada en Guanajuato, México, la cual funciona con combustóleo o gas natural, con el objetivo de analizar la posibilidad de sustituir una parte de dicho combustible con la biomasa disponible en el área definida, por lo que además de evaluar el potencial de biomasa, se realiza un análisis de las opciones existentes para llevar a cabo la co-combustión en el generador de vapor a través de adecuaciones en el mismo así como un diseño preliminar de los quemadores.

Posteriormente se realizó un análisis económico de las opciones de co-combustión directa e indirecta, para tener un panorama general de todos los factores que intervienen en la toma de decisiones para implementar esta tecnología.

## Abstract

Nowadays, the power stations that used fossil fuels have major challenges such as reduction of final product and supplies cost, reduction of greenhouse gas emissions as well as an effectiveness improvement, therefore, is important to make decisions and take actions in order to increase the renewable energies.

It is necessary that Mexican energy sector realized a strategic planning focused on its structure modernization, in this way, the coalescence of renewable energies has been taken relevance in the last decade.

Biomass is widely used in cofiring because is an alternative for the power generation plants which actually produce 81,013 GWh through fuel oil and natural gas, also 21,198 GWh are produced with coal (CFE, 2008) in Mexico. The technical feasibility of this technology has been proved around the world, because of its environmental and socioeconomic advantages, both contributed to increase the renewable energy.

This work is an attempt to present a first assessment of agricultural biomass potential for cofiring in Mexico, trough the evaluation and characterization of different kind of agricultural residues existing in a buffer area of 50 km around the 24 thermoelectric power plants, using Geographical Information Systems (GIS).

Once analyzed the overall electric sector, it is presented a case study: C.T. Salamanca located in Guanajuato, Mexico, which uses fuel oil or natural gas, with the aim of making a partial substitution of fossil fuel by the available agricultural biomass in a defined area, it was done not only the biomass assessment, also in the steam generator was performed an analysis of different options to apply cofiring through the necessary modifications as well as a preliminary design of burners.

Besides an economic evaluation was taking into account for both options direct and indirect cofiring, hence it was obtained a general overview of all factors that making decisions involves to implement this technology.

## Contenido

---

<i>Resumen</i>	2
<i>Abstract</i>	3
<b>1. Introducción</b>	6
1.1 Marco regulatorio y legal	6
1.2 Análisis del sector eléctrico Mexicano	7
1.2.1 Combustóleo	8
1.3 Alternativas de co-combustión en México	9
<b>2. Evaluación de biomasa residual agrícola (BRA)</b>	11
2.1 Metodología	11
2.1.1 Producción agrícola por tipo de cultivo y entidad federativa	12
2.1.2 Estimación de la cantidad de BRA	12
2.1.3 Estimación de la cantidad de BRA disponible	13
2.1.4 Estimación del potencial de la BRA disponible	13
2.2 Evaluación del potencial de BRA para co-combustión	15
<b>3. Caso de estudio: C. T. Salamanca</b>	17
3.1 Evaluación de BRA disponible	17
3.2 Características técnicas	17
3.3 Diseño de los quemadores	19
<b>4. Potencial de co-combustión en México</b>	23
<b>5. Análisis económico de la co-combustión</b>	25
<b>6. Conclusiones y Perspectivas</b>	27
<b>7. Referencias</b>	29
<i>Anexo A</i>	31
<i>Anexo B</i>	37

## Lista de Figuras y Tablas

---

### Figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación de las centrales termoeléctricas en México	8
<b>Figura 2.</b> Opciones de co-combustión directa	9
<b>Figura 3.</b> Modificación del quemador de la central de Studstrup, Dinamarca	10
<b>Figura 4.</b> Sistema de alimentación de biomasa, plantas Haslev y Mabjerg	10
<b>Figura 5.</b> Metodología para la estimación de BRA	11
<b>Figura 6.</b> Estimación del potencial de BRA disponible por entidad federativa (PJ)	14
<b>Figura 7.</b> Potencial de co-combustión en México (MW)	15
<b>Figura 8.</b> Potencial disponible BRA en el Estado de Guanajuato	17
<b>Figura 9.</b> Diagrama Esquemático de la C. T. Salamanca	18
<b>Figura 10.</b> Configuración del generador de vapor	19
<b>Figura 11.</b> Diseño de un quemador convencional	20
<b>Figura 12.</b> Análisis de sensibilidad del precio del combustóleo (c€/kWh) sobre las opciones de co-combustión	26
<b>Figura 13.</b> Análisis de sensibilidad del precio de la biomasa (c€/kWh) sobre las opciones de co-combustión	27

### Tablas

<b>Tabla 1.</b> Composición del combustible de la C.T. Salamanca	8
<b>Tabla 2.</b> Valores RPR (kg de residuos /kg de producto)	13
<b>Tabla 3.</b> PCI de la BRA. Base de datos Phyllis	14
<b>Tabla 4.</b> Potencial de co-combustión en las centrales termoeléctricas mexicanas	16
<b>Tabla 5.</b> Características principales de la C.T. Salamanca	18
<b>Tabla 6.</b> Resultados del diseño de quemadores	23
<b>Tabla 7.</b> Límites técnicos del potencial de co-combustión en México	24
<b>Tabla A.1.</b> Principales características de las Centrales Termoeléctricas convencionales en México	31
<b>Tabla A.2.</b> Principales cultivos en México	32
<b>Tabla A.3.</b> Evaluación del potencial energético de la BRA	35
<b>Tabla A.4.</b> Potencial energético de la BRA por estado y central	36
<b>Tabla B.1.</b> Rango de velocidades del aire	37

## 1. Introducción

En el contexto internacional, el sector eléctrico ha adoptado diversas estrategias que le permitirán una mayor eficiencia tecnológica respetando el medio ambiente. Dichas estrategias incluyen la diversificación del sector energético a través del impulso y desarrollo de tecnologías que aprovechan las fuentes primarias de energía.

El uso de la biomasa como energético ha surgido como una posibilidad más para la mitigación del cambio climático; en este sentido, el aprovechamiento de residuos agrícolas ha adquirido cada vez mayor importancia debido también al aumento en los precios y consumo de los combustibles fósiles.

La estimación de la biomasa, su distribución geográfica y su contenido energético son los aspectos importantes a considerar cuando se evalúa la factibilidad de utilizarla como energético. En México no se han realizado estudios que involucren la disponibilidad de este recurso con las características y ubicación de las centrales de generación eléctrica.

Por otro lado, la co-combustión constituye una alternativa para disminuir los efectos de la emisión de GEI (Yin et. al., 2010), además de que su implementación está respaldada por más de 150 plantas a nivel mundial, tanto en prototipo como a nivel comercial. De ahí que existan diversos estudios acerca de las consideraciones a tener en cuenta al utilizar y diseñar los quemadores y calderas en la co-combustión (McKendry, 2002; Baxter, 2005; Hansson et al., 2009).

La distribución geográfica del potencial de biomasa de diferentes tipos se ha realizado en varios estudios, como la evaluación de la biomasa forestal realizada en Portugal donde se utilizaron análisis en SIG para identificar la disponibilidad geográfica y la localización de plantas de biomasa (Viana et. al., 2010), otro estudio es el realizado en Punjab, India donde se calculó el potencial energético de la BRA utilizando también sistemas de información geográfica (Singh et. al., 2008), la evaluación del potencial de biomasa para producción eléctrica considerando costos de producción fue realizado en la Isla de Creta, Grecia (Voivontas et. al., 2001), un estudio más general se realizó en la Unión Europea al evaluar la disponibilidad de residuos agrícolas, su potencial y limitaciones para su uso energético (Scarlat et. al., 2010), así mismo otro estudio realizó la evaluación del potencial de co-combustión (Fouad and Jaroslaw, 2010). En España se han realizado diversos estudios del potencial no sólo en cuanto a estimación de la BRA a nivel municipal, como el que tuvo lugar en Teruel (García et. al, 2007) sino también en cuanto a potencial de co-combustión en centrales de carbón (García et. al., 2010).

La compilación y análisis de los estudios mencionados, conforman la pauta para realizar un análisis similar en México, donde se evalúe no sólo el potencial de biomasa disponible, sino también la aplicación del mismo en el sector eléctrico a través de la tecnología de co-combustión.

### 1.1 Marco regulatorio y legal

México está en un proceso de modificación y desarrollo del marco legal y regulatorio, que le permita desarrollar de manera efectiva su gran potencial en fuentes de energía renovables, a través del reconocimiento de la contribución de las mismas al

sistema eléctrico para lograr un trato preferencial, una retribución económica, incentivos fiscales y esquemas de financiamiento, que permitan concretar proyectos.

Actualmente en la Ley del Impuesto sobre la Renta existe una depreciación acelerada del 100% para inversiones en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables, lo cual resulta muy atractivo como instrumento de promoción.

En el 2005, entró en vigencia un Contrato de Interconexión para Fuentes Intermitentes con Potencia Acreditada emitido por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), el cual permite calcular y acreditar el aporte de capacidad que estos proyectos proporcionan a la red eléctrica.

Por otra parte, la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión aprobó recientemente la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía. Esta iniciativa prevé entre otros instrumentos, la creación de un fideicomiso, que permitirá que las fuentes de energía renovable alcancen en el año 2012, un 8 % en la participación de la generación de electricidad nacional, esto sin considerar la aportación de las grandes hidroeléctricas. Con esta Ley, México se unirá al grupo de países que cuentan con políticas públicas para fomentar el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía (SENER, 2006).

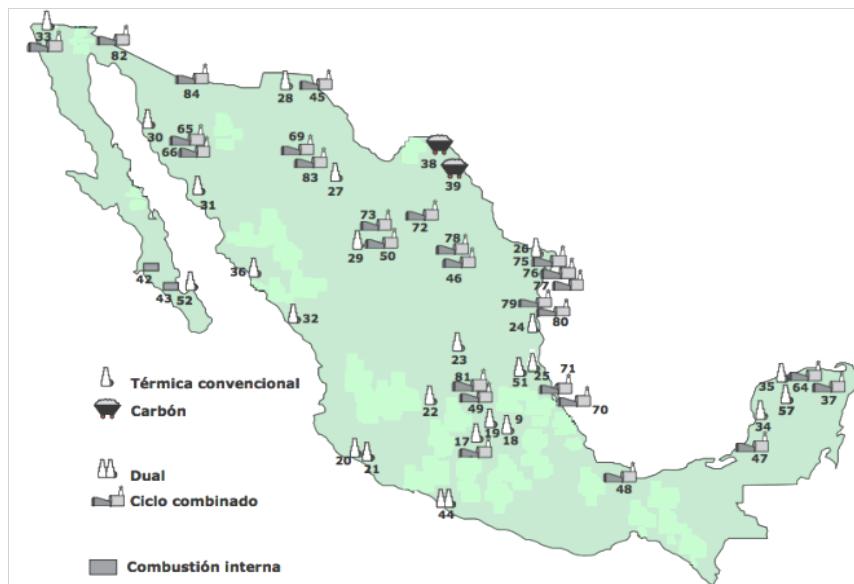
## 1.2 Análisis del sector eléctrico Mexicano

El 65.2% de la generación de energía eléctrica en México se basa en hidrocarburos y es generada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Las termoeléctricas convencionales producen el 29.5% de electricidad a partir de combustóleo y/o gas natural del total de generación nacional.

La Figura 1 es un mapa de México con la localización de las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles, entre las que se encuentran las térmicas convencionales que utilizan combustóleo y gas natural, las de carbón, las duales que funcionan con combustóleo o carbón, los ciclos combinados que trabajan con gas natural y las de combustión interna que pueden utilizar combustóleo o en su defecto diesel, en la Tabla A.1 del Anexo A se muestra el listado completo de las características particulares de cada una de las centrales marcadas en el mapa.

Debido a la disponibilidad limitada de este tipo de combustibles fósiles así como los problemas ambientales asociados al uso extensivo de los mismos se ha motivado la constante búsqueda de nuevos combustibles para producir energía (Yin et. al., 2008).

Por ejemplo, en México la bioenergía representa el 8% del consumo final de energía (Masera O. et. al. 2005), por lo que constituye una fuente importante de energía renovable que puede generar múltiples beneficios en los Estados y Municipios del país, de ahí la importancia de la evaluación de este recurso que aunado al uso de las tecnologías de co-combustión puede ser un detonador más para diversificar el sector eléctrico mexicano.



**Figura 1.** Ubicación de las centrales termoeléctricas en México (CFE)

### 1.2.1 Combustóleo

El combustóleo es un producto residual de la refinación del petróleo y su calidad depende de la calidad del petróleo crudo del que provenga. En México más del 60% del petróleo crudo es pesado con un contenido de azufre tres veces mayor al de otros crudos pesados (INE, 2007).

Es uno de los combustibles líquidos más empleados debido a su facilidad de transportación, además de que el diseño de los generadores de vapor de combustóleo es simple y menos costoso.

Los combustibles líquidos se queman en estado gaseoso, por lo que para facilitar la vaporización la premisa en el diseño de este tipo de quemadores es incrementar el contacto entre el líquido y el aire, de ahí que el combustóleo necesita ser atomizado en pequeñas gotas en la entrada de la caldera.

**Tabla 1.** Composición del combustible de la C.T. Salamanca

S	3.8 – 3.9 %
H	10.29 %
C	85.27 %
N	0.14 %
O	0.5 %
<b>Cenizas</b>	
Vanadio	160 ppm
PCS	9 937 kcal/kg

En la Tabla 1 se muestran los principales componentes del combustóleo utilizado en la Unidad 1 de la C.T. Salamanca. Por otro lado, las principales emisiones asociadas a la combustión del combustóleo son las de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas.

### 1.3 Alternativas de co-combustión en México

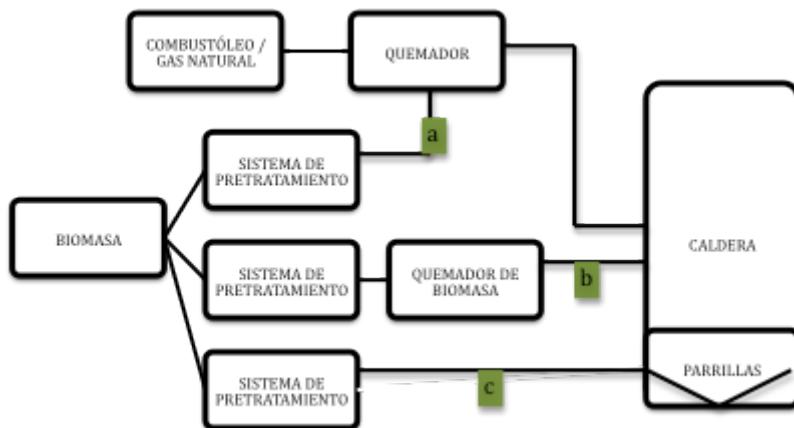
Las principales consideraciones a tener en cuenta al momento de implementar la co-combustión en cualquier central son la disponibilidad del combustible, las modificaciones en planta necesarias, el marco legislativo así como los aspectos económicos.

La tendencia general en la co-combustión es adaptar dicha tecnología con las mínimas modificaciones posibles en la planta ya existente por diversas razones, como evitar que las centrales estén fuera de servicio por períodos prolongados y disminuir los costos de inversión.

Dependiendo del tipo de generador de vapor, será necesario realizar diferentes adecuaciones con el fin de llevar a cabo la co-combustión en las centrales termoeléctricas que funcionan con combustible líquido (combustóleo) o gaseoso (gas natural), éstas modificaciones también estarán influenciadas por el tipo y forma de la biomasa introducida, puesto que al sustituir parcialmente el combustible fósil por biomasa se ve implicada la necesidad de llevar a cabo una adecuación de la misma dependiendo del tipo de conversión termoquímica que se realice.

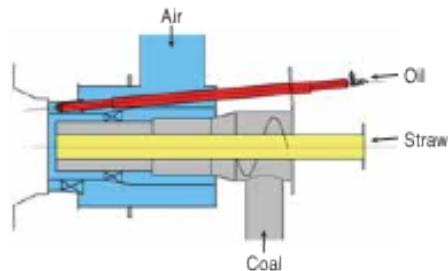
Existen varias alternativas para utilizar la biomasa en este tipo de centrales. Así, se pueden aplicar procesos termoquímicos que permitan obtener combustibles gaseosos o líquidos a partir de biomasa sólida, los cuales ya podrían introducirse en los quemadores de estas centrales que están diseñados para quemar combustibles gaseosos y líquidos, en este caso las modificaciones en los mismos serían mínimos. Sin embargo, se tiene el inconveniente económico de esta transformación, al ser un tipo de co-combustión indirecta.

Otra alternativa es la co-combustión directa, la cual consiste en utilizar la biomasa en estado sólido en la misma central a través de diferentes configuraciones, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Opciones de co-combustión directa

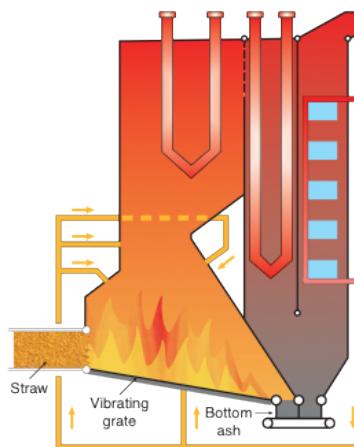
La opción “a” sería introducir la biomasa por algún conducto libre del mismo quemador de gas o combustóleo, lo que implicaría una reforma del quemador y un grado de pretratamiento mayor para adecuar el tamaño de partícula a las dimensiones del quemador, esta modificación ha sido empleada con éxito en la planta de Studstrup en Dinamarca, donde se removió el conducto del combustible de su posición inicial para dejar libre el conducto central para alimentar la biomasa de forma neumática, como se observa en la Figura 3.



**Figura 3.** Modificación del quemador de la central de Studstrup, Dinamarca  
(Overgaard et. al. 2004)

La opción “b” es introducir la biomasa en un quemador especial, para lo cual se podrían instalar nuevos quemadores adicionales a los ya existentes, esta opción se analizará en el apartado 3.3.

En la opción “c” se introduciría la biomasa por la parte inferior de la caldera a través de parrillas fijas o móviles, con lo que el costo de los sistemas de pretratamiento se reduciría respecto a las otras alternativas, no así la inversión necesaria para realizar esta reforma. Esta opción permitiría integrar un sistema que permita introducir pacas por medio de un pistón hidráulico como el diseño Cigar Burner en Dinamarca o como el sistema que se muestra en la Figura 4. La C.T. Salamanca tiene una distancia de 7.7 metros entre la base y la parte del hogar donde se encuentran los quemadores, por lo que se considera que existe viabilidad técnica en cuanto a espacio se refiere, para realizar las adecuaciones necesarias para implementar un sistema de este tipo.



**Figura 4.** Sistema de alimentación de biomasa, plantas Haslev y Mabjerg  
(Sander B. DONG Energy, 2007)

Cualquiera que sea la opción de co-combustión, es necesario analizar los posibles incrementos en el ensuciamiento, corrosión y deposición de cenizas al utilizar combustibles sólidos.

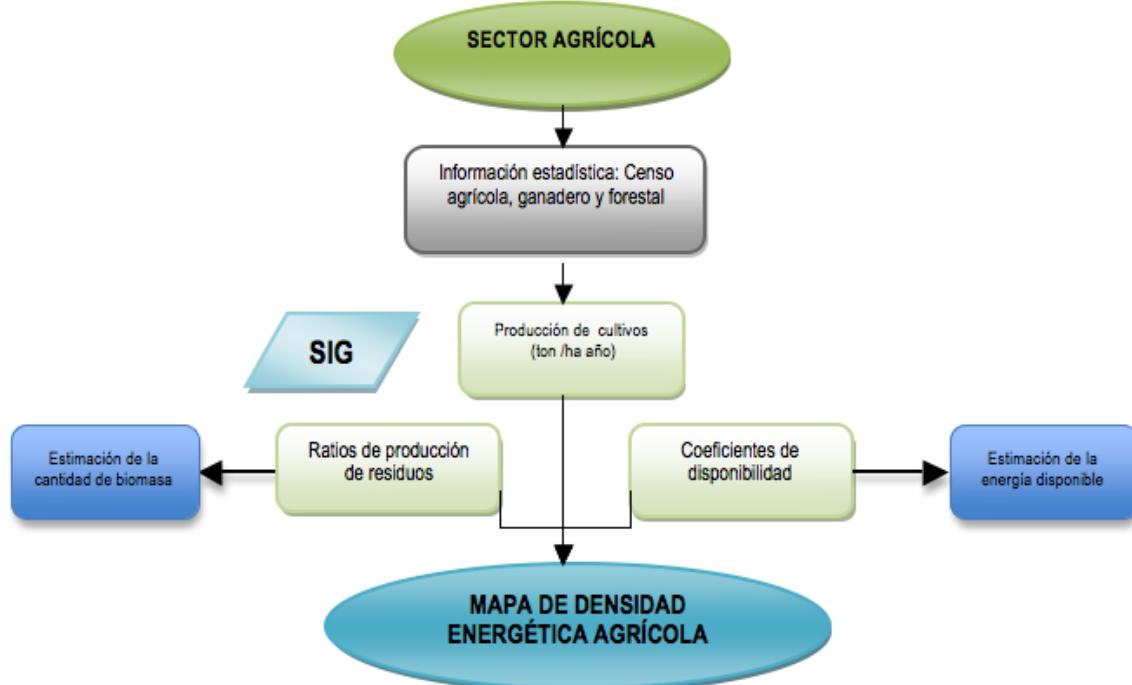
## 2. Evaluación de biomasa residual agrícola (BRA)

Esta evaluación constituye un primer esfuerzo hacia la estimación de biomasa residual agrícola como energético en México, puesto que las estimaciones se realizaron de manera muy general y con limitaciones en términos de acceso a información estadística y geográfica, así como de tasas de producción de residuos locales, los resultados obtenidos son preliminares y por lo tanto requieren de la implementación de mejoras a partir de estudios más elaborados que proporcionen mayor certeza y confiabilidad.

### 2.1 Metodología

La metodología para la estimación de biomasa residual agrícola (BRA) y densidad energética superficial de la Figura 5 considera las siguientes variables:

- 1) Producción agrícola por tipo de cultivo
- 2) Ratios de generación de residuo por unidad de producto (RRP)
- 3) Coeficientes de disponibilidad de la biomasa ( $C_d$ )
- 4) Características energéticas de los distintos tipos de biomasa



**Figura 5.** Metodología para la estimación de BRA