

# **La generación de electricidad a partir de eucalipto y bagazo en ingenios azucareros en Nicaragua:**

**Costes, aspectos macroeconómicos y medioambientales**

## ***Informe final***

Richard van den Broek, Ad van Wijk

Departamento de Ciencia, Tecnología y Sociedad  
Universidad de Utrecht  
Padualaan 14  
3584 CH Utrecht  
Holanda  
Tel: +31-30-2533145  
Fax: +31-30-2537601  
E-mail: Broek@nwsmail.chem.ruu.nl

*Este estudio ha sido iniciado y cofinanciado bajo el programa académico del Departamento de Montes de la Dirección de Productos Forestales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO: Food and Agriculture Organisation).*

## RESUMEN

Se hace una comparación entre la generación de electricidad a partir de bagazo y eucalipto mediante ingenios azucareros y la generación de electricidad a partir de bunker (fueloil) en Nicaragua. El combustible utilizado por los ingenios es bagazo durante la zafra y eucalipto de plantaciones energéticas durante la no-zafra. Se comparan los costes de estas dos maneras de generar electricidad. Además, se cuantifican los efectos socioeconómicos y medioambientales de la generación de electricidad a partir de eucalipto durante la zafra y se comparan con los de la generación de electricidad a partir de bunker. En este análisis la generación de electricidad a partir de bagazo durante la zafra es considerada de manera cualitativa.

Se asumió que el eucalipto se planta en terreno agrícola abandonado o deforestado sin valor significativo real económico o natural. Para la evaluación de los efectos macroeconómicos se construyó una matriz de insumo-producto específica para estos casos. Se cuantificaron el uso de combustible fósil y las principales emisiones al aire, mientras que otros efectos medioambientales de carácter más local se valoraron cualitativamente.

La producción de electricidad obtenida de bagazo y eucalipto tiene un coste inferior (3.7 \$ct/kWh) al de la electricidad obtenida de bunker (5.7 \$ct/kWh) en Nicaragua. Incluso en caso de que haya que obtener un beneficio significativo (TIR del 25%), el precio por kWh de la biomasa es más bajo, 5.7 frente a 6.8 \$ct/kWh. En este cálculo se supuso que el valor del bagazo es igual al coste del eucalipto. Si suponemos que el bagazo no tiene valor económico, el coste de la generación de electricidad durante todo el año sería de 2.8 \$ct/kWh sin ganancia y de 4.3 \$ct/kWh con ganancia.

En el caso de la electricidad a partir de eucalipto, aproximadamente un 73% del dinero gastado se añade al Producto Interno Bruto nacional de Nicaragua, y por tanto permanece en el país. En el caso del bunker éste pasa a ser un 14%, en el caso de un inversionista extranjero, y un 30% si el inversionista es nacional. La creación de empleo de alto y medio nivel de ingresos es comparable en los dos tipos de electricidad, pero la opción del eucalipto crea un número de puestos de trabajo de bajo nivel de ingresos, superior en factor 29.

El uso del combustible fósil y la emisión relacionada de CO<sub>2</sub> de la generación de electricidad de bunker es superior en factor 30 al de la biomasa (750 frente a 25 g CO<sub>2</sub>/kWh). Con emisiones acidificadoras, este factor es el mismo. Las emisiones de polvo de la planta de biomasa son superiores en factor 55 a las de bunker, pero se pueden filtrar por 0.2 \$ct/kWh más, lo que las reduce aproximadamente al mismo nivel de las emisiones de polvo del bunker.

Los efectos en el suelo, en el nivel del agua subterránea y en la biodiversidad dependen en gran medida del tipo de terreno al que las plantaciones reemplazan. En general, las plantaciones de eucalipto reducen la erosión del suelo y mejoran su contenido de materia orgánica. Se requiere una mayor investigación sobre el efecto indirecto del eucalipto en el nivel del agua subterránea.

Si se supone que el bagazo no tiene valor económico, el efecto macroeconómico durante la zafra podría ser más positivo que durante la no-zafra, porque la ganancia es mayor. La generación de empleo será mucho menor que en el caso del eucalipto (tal vez más parecida a la del bunker). En este caso también se podría asignar el efecto medioambiental de la producción de la caña totalmente al producto “azúcar”.

Si se supone que el bagazo tiene un valor igual al coste del eucalipto (basado en su poder calorífico inferior), hay que investigar el efecto socioeconómico y medioambiental de la producción de la caña y asignar una parte al bagazo. Éste es el objeto de estudio posterior.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	5
1.1. Background .....	5
1.2. Objetivos .....	5
2. LAS INICIATIVAS DE LA COGENERACIÓN EN DOS INGENIOS EN NICARAGUA .....	7
2.1. El sector eléctrico en Nicaragua .....	7
2.2. El sector azucarero en Nicaragua .....	7
2.3. Las iniciativas de la cogeneración de dos ingenios en Nicaragua .....	7
2.3.1. El ingenio Victoria de Julio .....	7
2.3.2. El ingenio San Antonio .....	8
2.3.3. Comparación de la tecnología usada .....	9
3. DEFINICIÓN DE CASOS .....	11
3.1. Generación de electricidad en un ingenio a partir de eucalipto y bagazo .....	11
3.1.1. La producción y aprovechamiento de bagazo y eucalipto .....	11
3.1.2. La planta eléctrica del ingenio .....	11
3.2. Generación de electricidad mediante un motor de bunker .....	12
3.2.1. El bunker .....	12
3.2.2. La planta eléctrica de bunker .....	12
4. EVALUACIÓN DE COSTES .....	13
4.1. Metodología y datos del input para la evaluación de costes .....	13
4.2. Resultados de la evaluación de costes .....	13
5. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA .....	15
5.1. Metodología y datos del input para la evaluación del efecto socioeconómico .....	15
5.1.1. Cálculo del efecto macroeconómico .....	15
5.1.2. Cálculo de la generación de empleo .....	16
5.2. Resultados de la evaluación del efecto socioeconómico .....	16
5.2.1. Resultados socioeconómicos cuantitativos .....	16
5.2.2. Resultados socioeconómicos cualitativos .....	17
6. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS MEDIOAMBIENTALES .....	18
6.1. Metodología y datos del input para la evaluación de los efectos medioambientales ..	18
6.2. Resultados de la evaluación de los efectos medioambientales .....	18
6.2.1. Resultados del análisis cuantitativo .....	18
6.2.2. Resultados del análisis cualitativo .....	19
7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	22
8. ALGUNAS BARRERAS NO TÉCNICAS Y RIESGOS POTENCIALES .....	24
8.1. Barreras no técnicas .....	24
8.2. Riesgos potenciales .....	24
9. DISCUSIÓN .....	25
10. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES .....	26
11. DESEABLE TRABAJO POSTERIOR .....	27

12. PALABRAS DE AGRADECIMIENTO .....	28
13. BIBLIOGRAFÍA .....	29
APPENDIX 1. SITUACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR INGENIOS AZUCAREROS EN HONDURAS .....	31
APPENDIX 2. SITUACIÓN Y POTENCIAL DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR INGENIOS AZUCAREROS EN CUBA .....	33

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Background

En el pasado, frente al panorama de los precios bajos de la energía y altos del azúcar, la ineficaz combustión de bagazo (un co-producto del proceso de la producción del azúcar de la caña) era considerada un método para deshacerse de un residuo. Con el colapso del mercado mundial de azúcar y las dos crisis energéticas, el bagazo pasó a considerarse cada vez más un co-producto útil para generar calor y electricidad, y la tendencia apunta actualmente hacia la mejora de su rendimiento e incluso a la venta de la electricidad sobrante.

En Nicaragua, en este momento, hay potencial para que los ingenios azucareros amplíen su producción de electricidad y la vendan a la red nacional, tanto durante la zafra como durante la no-zafra. Un posible combustible durante la no-zafra es el eucalipto de plantaciones dedicadas a la energía. Dos ingenios de Nicaragua, Victoria de Julio y San Antonio, están plantando actualmente eucalipto con este propósito.<sup>1</sup>

Además de las ventajas medioambientales, tales como la reducción del CO<sub>2</sub> y otras emisiones y la mejora de la calidad de los suelos degradados, se espera que esta utilización de la capacidad no usada genere también beneficios socioeconómicos, siendo un medio sustitutivo de la importación, ya que el actual suministro de electricidad depende en gran medida de las importaciones.<sup>a</sup> Los ingenios azucareros podrían ser los introductores ideales de cultivos energéticos en Nicaragua, porque ya tienen experiencia con el aprovechamiento de caña a gran escala, además de una infraestructura para el uso de equipos agrícolas, tierra sin utilizar y experiencia previa en la generación de electricidad a partir de biomasa.

Para investigar y cuantificar los efectos esperados, la FAO inició y cofinanció esta investigación junto con la Universidad de Utrecht (Holanda). El trabajo en el campo para este informe se ha realizado durante los meses de abril y mayo de 1997.<sup>b</sup>

## 1.2. Objetivos

El propósito de esta investigación era comparar la producción de electricidad mediante un ingenio a partir de bagazo y plantaciones de eucalipto a una escala de 10-12 MW<sub>e</sub>, con su alternativa más lógica a corto plazo en Nicaragua, siendo ésta motores de bunker (fueloil) con unidades de unos 5 MW<sub>e</sub>. Para ello, se compararon:

1. Los efectos microeconómicos, tomando como criterio principal el coste por kWh generado neto. También se compararon los costes de combustible por GJ;
2. Los efectos macroeconómicos, siendo el criterio principal la contribución al Producto Interno Bruto (PIB). Ésta se puede expresar dividiendo el precio del kWh en importación (directa e indirecta) y valor agregado (directo e indirecto). El valor agregado es la contribución al PIB.
2. Los efectos sociales; aquí, se usa como criterio principal el número de puestos de trabajo creados por unidad de capacidad instalada.
4. El uso de fuentes de energía no renovable (fósil) y la emisión de CO<sub>2</sub>, siendo éste el gas de efecto invernadero más importante. Se valoró la cadena de producción completa y se incluyeron los efectos indirectos más importantes.
5. Las emisiones acidificadoras y de polvo. Aquí la aproximación se limitó a la etapa más importante de la cadena, la conversión a electricidad.

---

<sup>a</sup>Aproximadamente un 60 % de la electricidad generada se basa en bunker (fueloil) importado. El resto de la capacidad consiste en plantas hidroeléctricas y geotérmicas intensivas de capital importado.<sup>1</sup>

<sup>b</sup>Este informe está basado en gran medida en un artículo presentado en noviembre de 1997 en La Habana por Van den Broek del Departamento de Ciencia, Tecnología y Sociedad de la Universidad de Utrecht (Holanda)<sup>2</sup>. Las diferencias principales entre aquel artículo y este informe son que este último incluye también en su análisis la época de la zafra y utiliza datos más actualizados (sobre todo en relación con la capacidad de la Wärtsilä, la eficiencia y las inversiones de la planta eléctrica del ingenio).

6. La repercusión en la calidad del suelo, en el nivel del agua subterránea y en la biodiversidad; estos aspectos se tratarán de una manera más cualitativa, principalmente basada en datos bibliográficos.
7. Se revisaron algunas barreras no-técnicas y algunos riesgos potenciales de la introducción de la energía a partir de los cultivos energéticos de árboles en Nicaragua.

En los ítems 2-5 la evaluación cuantitativa se limitó a la generación por los ingenios a partir de eucalipto durante la no-zafra. Los efectos de la producción y la conversión de bagazo se analizaron de manera cualitativa, con el énfasis en la metodología que se puede usar para cuantificar estos efectos. El Ítem 6 también se limitó al eucalipto.

Se presenta además en dos apéndices una descripción de la situación actual en Honduras y Cuba en relación con la posibilidad de utilizar estas experiencias de Nicaragua para generar electricidad con los ingenios azucareros destinada a la red nacional. Para Honduras se da también una estimación de los costes de producción de eucalipto por ingenios azucareros.

## 2. LAS INICIATIVAS DE LA COGENERACIÓN EN DOS INGENIOS EN NICARAGUA

En este capítulo se dan las características más importantes del sector eléctrico y azucarero de Nicaragua. Después, se describen los proyectos de cogeneración de los ingenios Victoria de Julio y San Antonio y se hace una comparación de la tecnología usada en estos ingenios.

### 2.1. El sector eléctrico en Nicaragua

La oferta energética primaria en Nicaragua en 1995 fue de 1.9 Mtoe, el 62% procedente de biomasa (Figura 1). La producción de electricidad constituye el 6% del consumo de la energía final, teniendo el 48% de la población acceso a la electricidad.<sup>3</sup> En 1995 la carga máxima fue de 327 MW<sub>e</sub> con una capacidad instalada de 393 MW<sub>e</sub>.<sup>4</sup> No obstante, debido a que algunas plantas estaban operando bajo su capacidad nominal, la capacidad real era solamente de 330 MW<sub>e</sub>.<sup>5</sup> Con un factor de carga de aproximadamente el 60%, el consumo de electricidad fue de 1,630 GWh. Aproximadamente el 60% de la electricidad se genera a partir de derivados de petróleo, sobre todo a partir de bunker C, el fueloil (Figura 2). Las importaciones de petróleo y los derivados de petróleo constituyen el 13% de las importaciones totales (y equivalen al 25% de las exportaciones totales).<sup>6</sup> Aproximadamente el 26% de este combustible se consume en el sector eléctrico.<sup>4</sup>

En este momento, una nueva *Ley de la industria eléctrica* está en proceso de aprobación. Esta ley tiene que estimular las inversiones privadas en el sector eléctrico de Nicaragua.<sup>7</sup> Poco a poco, van produciéndose mayor número de inversiones privadas.

El Instituto Nicaragüense de Energía (INE) estimó que la demanda de electricidad de los próximos 20 años crecerá entre el 5.4 y el 6.1% por año. Esto significa que la capacidad instalada tiene que aumentar en factor 2.3 hasta 2.7, de aquí al año 2015.

Una solución rápida a la crisis eléctrica de Nicaragua es la importación de electricidad a un precio muy alto y un contrato de 32 MW<sub>e</sub> con una empresa privada para una planta a partir de bunker a un precio de 0.088 \$/kWh.<sup>8</sup> INE estima el precio que (en caso de que no haya una licitación) pagará ENEL por la electricidad en unos 0.065 \$/kWh.<sup>1</sup>

### 2.2. El sector azucarero en Nicaragua

Durante los ochenta, todos los ingenios fueron nacionalizados por el gobierno sandinista. Como resultado de las dificultades nacionales e internacionales, la producción de azúcar fue muy baja durante esta época. En 1990 se inició la (re-)privatización de los ingenios, siendo concluida en 1993. Hoy en día, la caña de azúcar es de nuevo el cultivo más importante de Nicaragua.

En Nicaragua hay 7 ingenios con una producción total de 4 Mton de caña durante la zafra de 1996/1997. Durante la zafra de 1995/1996 se exportó el 44% del azúcar producido, constituyendo el 6% de las exportaciones totales.<sup>6,9</sup> Los ingenios de Nicaragua son autoabastecedores de su electricidad y vapor a partir de bagazo durante la zafra, época que puede durar hasta 6 meses. El resto del año, tanto el ingenio como la planta eléctrica no se utilizan.

La posibilidad de extender su producción de azúcar no resulta muy atractiva para los ingenios, porque tanto el mercado nacional como el mercado estadounidense tienen una demanda de azúcar casi fija y los precios en el mercado mundial son inferiores al precio de coste de producción. Por lo tanto, si los ingenios quieren crecer como empresa, tienen que encontrar otras alternativas, como la venta de electricidad a la red nacional.<sup>10</sup>

### 2.3. Las iniciativas de la cogeneración de dos ingenios en Nicaragua

Esta sección describe las iniciativas existentes en los ingenios Victoria de Julio y San Antonio que venderán electricidad durante todo el año, a partir de bagazo durante la zafra y a partir de eucalipto (*camaldulensis*) durante la no-zafra.

### *2.3.1. El ingenio Victoria de Julio*

Victoria de Julio es el segundo ingenio más grande de Nicaragua después de San Antonio, y comenzó sus operaciones en 1985 (Cuadro 1). Este ingenio es diferente a la mayoría de los ingenios de Centroamérica. La idea de la electricidad como segundo producto ya fue tenida en cuenta en el diseño original de la planta. Además, las plantaciones de caña tienen como única característica que todas tienen riego por pivote circular (cada una con un radio de 500 metros). Se creó una infraestructura excelente, compuesto de más de 180 círculos con plantaciones de caña y caminos entre ellos.

#### *Las plantaciones de eucalipto de Victoria de Julio*

Las plantaciones de eucalipto usan los suelos sobrantes entre las plantaciones circulares de caña. Esto significa que se pueden usar 20 hectáreas (o el 20%) de cada cuadrado de 1 km por 1 km, teniendo 1 círculo de caña con riego por pivote circular. El Cuadro 2 muestra más detalles sobre las plantaciones de eucalipto.

Gran parte de los suelos de Victoria de Julio son vertisoles, por lo que tienden a agrietarse durante la estación seca, lo que puede dañar las raíces de los árboles.

Se comenzó a plantar eucalipto en 1986, lo que significa que ya se ha cosechado dos veces en algunas lugares. Solamente había mediciones del peso de los árboles cosechados en unas decenas de hectáreas. El crecimiento promedio en el primer turno (5 años) fue de 7  $\text{ton}_{0\%}/\text{ha.}\text{año}$  y en el segundo turno (4 años, por tanto desde el año 6 hasta el año 9) de 10  $\text{ton}_{0\%}/\text{ha.}\text{año}$ .<sup>11</sup>

#### *La planta eléctrica de Victoria de Julio*

En este momento solamente hay instaladas tres turbinas de contra-presión de 4  $\text{MW}_e$  cada una. Desde hace ya más de 8 años han estado disponibles en el ingenio 2 turbinas (sin instalar) de 12  $\text{MW}_e$ : una de alta y otra de baja presión, pero ambas de condensación. Lo único que falta (desde hace 8 años), para completar el esquema total de la cogeneración, es la instalación de estas dos turbinas (Figura 3). Así, la nueva turbina de baja presión puede generar electricidad durante la no-zafra y la nueva turbina de alta presión puede hacerlo durante todo el año.

La capacidad eléctrica bruta durante la zafra es de 24  $\text{MW}_e$  y durante la no-zafra de 36  $\text{MW}_e$ .

Ya que la temperatura y la presión del vapor todavía son bastante bajas, la eficiencia también se limitará a un 20% (basado en el poder calorífico inferior).

### *2.3.2. El ingenio San Antonio*

El ingenio San Antonio es el ingenio más grande de Nicaragua. Comenzó su producción como primer ingenio de Nicaragua en 1893 y tiene una historia repleta de progresivas mejoras técnicas (Cuadro 1).

#### *Las plantaciones de eucalipto de San Antonio*

Las primeras plantaciones de eucalipto se establecieron en aquellas partes del terreno del ingenio no aptas para la caña. Las plantaciones más recientes están establecidas en un área 15 km al norte de esta parte del ingenio, en tierras alquiladas y compradas. En el futuro se extenderán las plantaciones, alquilando y comprando suelo, hasta unos 50 km de distancia desde el ingenio.

Generalmente, las plantaciones están establecidas en suelos degradados o en los que es muy difícil obtener ganancias mediante cultivos agrícolas. En estos suelos el eucalipto puede a veces competir con estos cultivos agrícolas. El Cuadro 2 muestra más detalles sobre las plantaciones de eucalipto de San Antonio.

La estructura de las plantaciones facilita el uso de tractores pequeños para la limpieza, lo que resulta, en combinación con limpiezas manuales, más barato que solamente usar estas últimas, porque es más efectivo. También se está experimentando con el uso de herbicidas. Tal vez la estrategia óptima vaya a ser diferente en distintos tipos de suelos.<sup>12</sup>

Con el objetivo de aumentar la oferta de madera para la cogeneración, el ingenio también está negociando con cooperativas de pequeños campesinos del proyecto agroforestal de Los Maribios. En este proyecto ya hay establecidas más de 2,500 ha de plantaciones de pequeña escala, componiéndose el 71% de *eucalyptus camaldulensis*.<sup>13</sup>



### *La planta eléctrica de San Antonio*

El ingenio San Antonio acaba de instalar una turbina de extracción-condensación y una nueva caldera. La turbina es de segunda mano, pero sin apenas utilización previa. También se modificó una caldera existente, aumentando su presión a 41 bar. Durante la zafra, la extracción de la turbina va a las turbinas de los molinos y a otra turbina existente (y más vieja) de 7.5 MW<sub>e</sub> de contra-presión. El vapor obtenido de estas turbinas va al proceso de la producción de azúcar (Figura 4). Fuera de la zafra, el plan es utilizar solamente la turbina “nueva” en combinación con una de las calderas de alta presión, condensando todo el vapor (Figura 5). De esta manera, la capacidad instalada eléctrica bruta durante la zafra es de 26 MW<sub>e</sub> y durante la no-zafra de 15 MW<sub>e</sub>.

Durante la no-zafra, otra posibilidad de este ingenio para aumentar la capacidad generada es usar la extracción de la turbina “nueva” para fomentar la turbina vieja, lo que también aumentaría la capacidad de la turbina “nueva”. De esta manera, la generación máxima bruta durante la no-zafra sería de 26 MW<sub>e</sub>. El uso de la turbina vieja durante la no-zafra sí reduciría la eficiencia, porque esta turbina vieja no es de condensación.

Para el futuro, el plan es que todo el vapor destinado a los molinos y el proceso de la fábrica sea producido por cogeneración completa.<sup>14</sup>

### *2.3.3. Comparación de la tecnología usada*

#### *Las plantaciones energéticas*

Hay muchas semejanzas entre las plantaciones energéticas de Victoria de Julio y San Antonio. Una ventaja inherente a Victoria de Julio es que las plantaciones de eucalipto están cerca del ingenio dentro de una infraestructura excelente de caminos. En San Antonio, la mayoría de las plantaciones están más lejos, pero aquí sí se están usando los mejores suelos para la caña de una manera más eficiente.

Una ventaja de las plantaciones de San Antonio es su estructura, que facilita el uso de tractores pequeños para la limpieza entre las líneas de árboles. En Victoria de Julio esta no es posible, pero se dice también que aquí hay de todos modos un problema con el uso de tractores durante la estación de las lluvias (la no-zafra), porque el suelo no es apto para ello.

Una diferencia en relación con la situación actual es que en Victoria de Julio en este momento no se presta mucha atención a las plantaciones, porque se quiere resolver primero algunos problemas generales en relación con la producción de azúcar y porque todavía no hay un contrato con ENEL. La consecuencia es que, aunque se sabe muy bien allá lo que hay que hacer, no hay suficiente dinero para el mantenimiento de las plantaciones, lo que repercute en su calidad en este momento.

#### *Las plantas eléctricas*

Una diferencia es que la presión del vapor en San Antonio es más alta que la presión en Victoria de Julio, lo que da como resultado una eficiencia (bruta) más elevada del primero (22% frente a 20%). Pero hay otra diferencia interesante. En un sistema donde un ingenio usa vapor solamente durante medio año, siempre se produce sub-utilización de uno o varios componentes de la planta eléctrica. Una diferencia fundamental entre el diseño del esquema de San Antonio y el esquema de Victoria de Julio tiene que ver con la ubicación de esta sub-utilización, con consecuencias en la variación de la capacidad vendida durante el año.

En Victoria de Julio hay una sub-utilización de la capacidad de la turbina de condensación de baja presión (Figura 3) durante la época de la zafra, porque en esta época no se usa esta turbina. En San Antonio hay una sub-utilización durante la época de la no-zafra de la parte de alta presión de la turbina de extracción-condensación y de las calderas y, dependiendo del esquema final, de la turbina vieja (Figura 4). En Victoria de Julio la consecuencia de la sub-utilización es que la capacidad eléctrica bruta generada es mayor durante la no-zafra, pero en San Antonio la capacidad eléctrica bruta generada es mayor durante la zafra (o es igual todo el año si se usa también la turbina vieja durante la no-zafra). Si tenemos en cuenta que los ingenios tienen un uso de electricidad muy significativo durante la zafra, la consecuencia es que la variación de la capacidad para la venta a la

red nacional en Victoria de Julio es mucho mayor que la variación de esta capacidad en San Antonio. Esta puede ser una ventaja importante para San Antonio en sus negociaciones con ENEL, porque el valor de una capacidad fija es más alto que el de una capacidad variable. Siempre hay que analizar esta ventaja teniendo en cuenta las inversiones necesarias por kW<sub>e</sub>, que también podrían ser más altas en el ingenio San Antonio.

### 3. DEFINICIÓN DE CASOS

#### 3.1. Generación de electricidad en un ingenio a partir de eucalipto y bagazo

##### 3.1.1. La producción y aprovechamiento de bagazo y eucalipto

###### *El bagazo*

Durante la zafra se usa como combustible el bagazo de la caña. Por cada tonelada de caña molida, se extraen 0.35 toneladas de bagazo apto para la combustión.<sup>15</sup> Este bagazo se almacene al aire libre en el terreno del ingenio y se quema durante la zafra. El Cuadro 4 da algunas características básicas del bagazo como combustible.

###### *El eucalipto*

La atención para un combustible durante la no-zafra se ha puesto en la producción de *eucalyptus camaldulensis* porque ya hay aproximadamente unas 7000 hectáreas destinadas al uso de esta especie como fuente de energía.<sup>a</sup>

Se describe ahora brevemente la cadena de actividades para la producción del eucalipto, basada en la práctica actual de los ingenios.

Las plantas se cultivan en un vivero propiedad del ingenio. Crecen en bolsas de polietileno irrigadas y fertilizadas hasta que son lo suficientemente fuertes para poder ser plantadas en el campo (Cuadro 5). Las actividades principales de la preparación del campo son la retirada de los troncos existentes, el arado, el gradeo y el subsoleo (Cuadro 6), éste último especialmente importante en los suelos arcillosos para facilitar el desarrollo de las raíces del árbol. Se usa un espaciado relativamente amplio entre las hileras de árboles para facilitar a un tractor la entrada para quitar la maleza. Entre los árboles, dentro de las hileras, se lleva a cabo el "corte" manual de la maleza, usando machetes (Cuadro 6). La limpieza de las plantaciones es particularmente necesaria durante los primeros años (Cuadro 3). El uso de herbicidas está siendo analizado en este momento.<sup>12</sup> Éste no ha sido incluido en este estudio.

Se asume que la cosecha se recoge con motosierras.<sup>11</sup> Después de talar los árboles, se cortan las ramas pequeñas, se seccionan los troncos en pedazos de 2-5 m y uno o dos hombres los apilan (Cuadro 6).

Se asume que el transporte a la planta eléctrica se lleva a cabo de dos maneras: (1) tiro directo y (2) tiro indirecto (Cuadro 7).<sup>16</sup> El tiro directo es el más barato e implica que el camión puede acercarse a las plantaciones, lo que exige una buena infraestructura de carreteras y condiciones meteorológicas favorables. Un cargador frontal carga directamente la leña en el camión. Sólo se puede transportar así una parte de la madera. Ésta se almacena en el área de almacenamiento cerca del ingenio. Se carga en el astillador cuando se necesita. El resto de la madera tiene que ser primero transportado a un lado de la carretera por transporte menor, siendo éste un pequeño tractor de autocarga con un remolque. La madera queda almacenada temporalmente en un lado de la carretera, y un cargador frontal la cargará en un camión en el momento en que se necesite. Esta madera ya no se almacena más en el ingenio, sino que se descargará directamente en el astillador.

En una comparación justa, las plantaciones de eucalipto tienen que ser comparadas con el tipo de cultivo que de otra manera hubiera habido en ese suelo.<sup>17</sup> Se asume que las plantaciones de eucalipto están en suelo sin uso económico anterior o valor natural significativo. Puede tratarse tanto de terreno propiedad del ingenio, pero inadecuado para la producción de caña de azúcar, como de terreno agrícola marginal que ha sido abandonado o terreno anteriormente deforestado, alquilado por el ingenio.

---

<sup>a</sup>Las características físicas de la madera del eucalipto en el contexto nicaragüense se presentan en el Cuadro 3.

### *3.1.2. La planta eléctrica del ingenio*

La planta energética se basa en la tecnología de combustión convencional, con un ciclo *rankine* de vapor (Cuadro 8 y Figuras 4y 5). El cálculo de los costes de inversión se ha basado en las modificaciones que se llevan a cabo actualmente en el ingenio San Antonio. Esto significa básicamente que se modifica una caldera existente y que se instalan una nueva caldera y una turbina de segunda mano prácticamente no usada.

Las Figuras 4 y 5 muestran que en la planta eléctrica además de la turbina “nueva”, la caldera modificada y la caldera nueva, hay también otras tres calderas y una turbina de baja presión. Estas tres calderas no se van a usar para la venta de electricidad a la red nacional, sino sólo para la generación de electricidad y vapor para el proceso de la producción de azúcar. Esta parte de la planta eléctrica es propiedad del ingenio, mientras que la caldera modificada, la caldera nueva y la turbina “nueva” son propiedad de otra empresa que comprará bagazo al ingenio y le venderá vapor y electricidad, así como electricidad a la red nacional. En este análisis se incluyen solamente los costes y la producción de esta parte de la planta eléctrica que se usa para la cogeneración y la venta de electricidad.

La capacidad que se venderá a la red nacional no será totalmente constante (véase Figura 4 y 5), 10.2 MW<sub>e</sub> durante la zafra y 12 MW<sub>e</sub> durante la no-zafra. Sin embargo, ya que esta diferencia no es muy significativa, la comparación con la planta de bunker sí parece justa.

## **3.2. Generación de electricidad mediante un motor de bunker**

### *3.2.1. El bunker*

El bunker de Nicaragua ("Bunker C", véase Cuadro 4) puede ser tanto importado como producido en la refinería de Managua. Esto depende de la empresa suministradora. En este informe se asume que el bunker se produce en Managua a partir del crudo importado.

### *3.2.2. La planta eléctrica de bunker*

La alternativa tecnológica a corto plazo más barata para Nicaragua es la quema de bunker en motores.<sup>14, 18</sup> La elección más lógica de un motor es el Wärtsilä VASA 18V32, dado que es relativamente barato y eficiente y que ya ha habido experiencias positivas con este tipo de motor en la Planta Managua en Nicaragua (Cuadro 9).<sup>14</sup>

## 4. EVALUACIÓN DE COSTES

### 4.1. Metodología y datos del input para la evaluación de costes<sup>a</sup>

- Ambas cadenas de energía tienen gastos distintos en distintos años (Cuadro 3). Por eso se anualizan todos los costes para el cálculo del coste por kWh.
- Es difícil determinar unívoco el coste del bagazo.  
Por un lado, se puede decir que el bagazo es principalmente un residuo de la producción de azúcar de la caña y que no tiene valor económico.  
Por otro lado, también se puede defender que el bagazo sí tiene un valor económico, porque es un combustible que se usa para la generación de vapor y electricidad para la venta a la red nacional (y al ingenio). El problema es que no se puede decir unívoco qué parte del coste de la producción de la caña se tiene que asignar al producto “azúcar” y qué al producto “electricidad”. En este caso se podría decir que el valor del bagazo es igual al valor (o al coste) del eucalipto, siendo éste un combustible de biomasa con características comparables.
- En este estudio calculamos los costes de electricidad de las dos maneras, primero con un coste del bagazo de 0 \$/GJ y después con un coste por gigajulio igual al coste del eucalipto (basado en su poder calorífico inferior).
- En el caso del ingenio, se asignaron los costes de inversión, operación y mantenimiento de la planta eléctrica por una parte a la venta de la electricidad y por otra parte a la generación de electricidad y vapor para la producción del azúcar. Esta asignación se hace en dos etapas. Primero, se calcula qué parte de la electricidad generada neta va a la venta y qué al ingenio (p.e. para el proceso, riego o el pueblo). Este ratio (diferente durante la zafra y la no-zafra) se usa para asignar los costes totales a estos dos productos. De este coste resultante, se asigna además una parte del coste de las calderas a la generación de electricidad y otra al proceso del ingenio, basándose en la parte del vapor que se usa para ambas actividades. Para este cálculo hay que convertir el vapor que va al proceso en la capacidad eléctrica que se podría generar con este vapor.
- Se asumió que el periodo sobre el que se han hecho los cálculos de los costes es igual a la vida útil de las plantaciones de eucalipto (24 años). Con el equipo de generación de electricidad en consideración, esto parece posible desde el punto de vista técnico.<sup>19</sup>
- Para el cálculo de la ganancia, se utilizó una tasa interna de retorno del 25%<sup>b</sup>.<sup>12, 20</sup> Esto quiere decir que la empresa quiere obtener una tasa más elevada que la tasa de descuento (11%), que solamente refleja el coste para financiar el proyecto. Para el cálculo de la ganancia, primero se calculó el precio de la electricidad con la tasa interna de retorno (25%) en lugar de la tasa de descuento (11%). La ganancia es la diferencia resultante entre esta cifra y el coste de electricidad basado a la tasa de descuento.

### 4.2. Resultados de la evaluación de costes

El coste de eucalipto, como combustible (en la planta, incluyendo el astillado), es inferior en factor 3 al coste del bunker, compárase 1.3 \$/GJ de uno con 3.8 \$/GJ del otro (Figura 7 parte izquierda y Cuadro 12). Componentes importantes de los costes de eucalipto son los costes por terreno (31%) y los costes del transporte, carga y descarga (28% en total). Los costes reales de producción (excluyendo los costes del terreno) del eucalipto a pie de monte son sólo un 23% del precio de coste final.

El Cuadro 8 muestra los ratios que usamos para la asignación de las inversiones y los costes por operación y mantenimiento a la venta de la electricidad.

El coste por generación de electricidad a partir de bunker es de 5.7 \$ct/kWh. Si se incluye una

<sup>a</sup>Todos los dólares mencionados en el informe son dólares estadounidenses del año 1997.

<sup>b</sup>Éste es un valor relativamente alto, que refleja los riesgos de invertir en un país como Nicaragua. La cifra se ha basado en el ingenio de San Antonio; la cifra correspondiente al Victoria de Julio sería de un 20%.<sup>11</sup> En el caso de que el servicio público sea el inversionista, la TIR podría ser igual a la tasa de descuento, porque no quiere obtener ganancias, sino sólo compensar sus costes (incluidos los costes de financiación).<sup>14</sup>

ganancia, el precio final será de 6.8 \$ct/kWh (Figura 7 y Cuadro 12, parte derecha).

Para comparar este coste con el coste de la electricidad generada por el ingenio a partir de biomasa, hay que diferenciar entre el caso en que supusimos que el coste del bagazo es cero y el caso en que el coste del bagazo (por GJ) se supone igual al coste del eucalipto.

En este último, el coste medio de la producción de electricidad a partir de biomasa durante todo el año es de 3.7 \$ct/kWh (3.4 durante la zafra y 4.0 durante la no-zafra) y el precio con ganancia es de 5.7 \$ct/kWh (5.0 durante la zafra y 6.2 durante la no-zafra). La ganancia necesaria para obtener una tasa interna de retorno del 25% es relativamente alto en el caso de la generación de electricidad a partir de eucalipto, porque la inversión total aquí no solamente incluye la planta eléctrica, sino también el establecimiento de las plantaciones durante los 6 primeros años anteriores a la producción de la electricidad (Figura 7 y Cuadro 12, parte derecha).

En el caso de un coste cero para el bagazo, el coste de la electricidad durante todo el año será de 2.8 \$ct/kWh (con un valor de 1.2 durante la zafra y 4.0 durante la no-zafra) y al incluir la ganancia el precio es 4.3 \$ct/kWh (con un valor de 1.7 durante la zafra y 6.2 durante la no-zafra).

## 5. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA

### 5.1. Metodología y datos del input para la evaluación del efecto socioeconómico

Primero se presenta la parte cuantitativa de la evaluación socioeconómica. Esta parte se limita a la época de la no-zafra.

La evaluación para la zafra depende del valor del bagazo, o más concretamente de la manera de asignar los costes de la caña al producto “azúcar” y al producto “electricidad”. Un base para esta asignación podría ser la suposición de que el bagazo tiene el mismo valor que el eucalipto (basado en su poder calorífico inferior) o que no tiene valor económico. En este informe se analizan los efectos socioeconómicos durante la zafra de manera cualitativa para estas dos suposiciones.

#### 5.1.1. Cálculo del efecto macroeconómico

El propósito aquí es ver cuál es la contribución de los dos tipos de producción de electricidad al Producto Interno Bruto (PIB) de Nicaragua. Esto se puede hacer determinando qué parte del precio de la electricidad es valor agregado. El valor agregado consiste en todos los ingresos del país de este tipo de generación de electricidad. Los componentes más importantes son salarios, ganancias e ingresos por la propiedad de terreno o bienes de capital. La suma de todos los valores agregados en una economía equivalen al PIB. Entonces, la parte del precio de coste final que es valor agregado es el criterio de comparación de los medios de producción de electricidad, porque indica la contribución de esta actividad al PIB.

Los gastos directos en ambas cadenas de energía se desglosan en importación directa, valor agregado directo y gastos en el sector productivo de Nicaragua, para comprar productos intermedios (Figura 6).<sup>a</sup> Para producir estos productos intermedios, el sector productivo a su vez tiene que gastar dinero en importación, valor agregado y gastos intermedios. Lo mismo pasará con estos productos intermedios y así sucesivamente. De esta manera, como se puede ver en la Figura 6, finalmente, el coste total de la electricidad se desglosa en valor agregado directo e indirecto e importación directa e indirecta.

Para calcular estos efectos indirectos se puede usar la matriz de insumo-producto (MIP) del país en consideración<sup>b</sup>. Esta matriz tiene en cada columna los gastos de uno de los sectores del país. En sus líneas tiene la oferta de los productos intermedios de estos mismos sectores. Esta matriz es un producto estadístico normalmente resultado de un programa de entrevistas del instituto estadístico nacional de cualquier país.<sup>22</sup>

La metodología de esta investigación es distinta a la metodología standard del MIP, por lo que construimos una MIP normalizada específica para nuestro caso (Cuadro 10). Esta matriz ha sido construida a base de entrevistas con las industrias suministradoras de ambas cadenas de energía. Las dos últimas columnas de esta matriz muestran los gastos directos de las dos cadenas de energía.<sup>c</sup> La última columna de las Tablas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 muestra en qué categoría se situará el ítem

---

<sup>a</sup>En el caso del ingenio se asumió que el beneficio se queda en el país y se añade al valor agregado directo. En el caso de la generación a partir de bunker, se compararon una situación en que hay un inversionista extranjero (en que el beneficio va al extranjero y contribuye a la importación directa) y otra en que el inversionista es nacional (y el beneficio se queda en el país).

<sup>b</sup>Se puede realizar este análisis mediante la premultiplicación de los gastos directos por la *inversa de Leontief*. Esta es una matriz calculada tomando como base la matriz de insumo producto (MIP). Si A es la MIP normalizada (que significa que los totales de todas las columnas son iguales a 1), su inversa Leontief es  $(I-A)^{-1}$ , siendo I la matriz unidad. Vlasbom la aplicó al caso de la energía a partir de biomasa en Holanda.<sup>21</sup>

<sup>c</sup>La parte intermedia fue premultiplicada por la MIP específica para conseguir el efecto de la segunda ronda y así sucesivamente. Después de cuatro rondas, la parte del gasto intermedio llegó a ser menor al 3%. La división de este 3% restante se estimó basándose en la proporción entre el valor agregado total y las importaciones totales. Esta proporción se derivó de una MIP de la economía nicaragüense ya existente.<sup>22</sup> Se asumió que la corrección no puede efectuarse por un cambio inmediato del precio de la importación de bunker, porque se supuso que estos casos no pueden influir a este parámetro.

correspondiente.

Las principales razones para construir esta MIP específica y no usar la MIP existente fueron:

- Esta MIP nacional es mucho más agregada, así que los efectos indirectos no serán los efectos indirectos reales de los gastos del caso específico, sino de un gasto medio en el sector donde se ha hecho el gasto del caso específico. Esto distorsiona el resultado final.
- En los dos casos estaba claro que los componentes de mano de obra e importación aumentarían mucho en unas cuantas rondas. En la economía nicaragüense la producción de eucalipto requiere gran cantidad de mano de obra y el crudo se importa. Aún más, en Nicaragua no hay industria de producción de equipamiento eléctrico, calderas o maquinaria agrícola, así que hay que importar todos estos componentes. Esto hace que sea relativamente fácil construir una MIP específica para estos casos allí.
- Se piensa que la calidad de una MIP no será por lo general muy alta en países en vías de desarrollo como Nicaragua. Además, la MIP más detallada que existe en Nicaragua es de 1986.<sup>22</sup> La estructura actual de la economía difiere mucho de la de 1986, que era el periodo del gobierno sandinista.

Dado que los productos más caros tienen generalmente un mayor componente de valor agregado, la comparación final del componente de valor agregado tiene que hacerse en bases de costes iguales. Esto significa que el resultado de una de las dos cadenas tiene que adecuarse al nivel de coste de la otra. Se ha decidido adecuar el coste de la electricidad a partir de biomasa al nivel del coste de la de bunker, el último representando un tipo de coste evitado según la práctica actual en Nicaragua. Esta corrección se ha hecho para cambiar el valor agregado de la electricidad a partir de biomasa hasta alcanzar el nivel del precio de la electricidad de bunker.<sup>a</sup>

#### *5.1.2. Cálculo de la generación de empleo*

Los costes laborales en todos los cálculos de costes se desglosan en bajo, medio y alto coste laboral. A partir de los resultados del análisis macroeconómico se conocen los gastos (directos e indirectos) de cada uno de estos tipos de trabajo. A partir de ahí se puede calcular fácilmente el número de puestos de trabajo por unidad de capacidad instalada.

## **5.2. Resultados de la evaluación del efecto socioeconómico**

### *5.2.1. Resultados socioeconómicos cuantitativos*

En este párrafo se comparan los efectos socioeconómicos de la generación de electricidad a partir de bunker con los de la generación de electricidad por los ingenios a partir de eucalipto durante la no-zafra.

#### *Resultados macroeconómicos*

A pesar del hecho de que se asume que el bunker se produce a nivel nacional, sólo un 5% del precio de coste permanece en el país. Con el eucalipto, un 71% (Figura 8, parte izquierda). Básicamente, ésta es una comparación injusta con ventaja para el bunker, porque su precio de coste es más elevado. La corrección necesaria, sin embargo, sólo se llevará a cabo con el precio final del kWh.

El valor agregado de la electricidad a partir del eucalipto es, después de la corrección, casi cuatro veces mayor que el de la electricidad del bunker (Figura 8, parte derecha). En el caso de la quema del eucalipto, un 73% del dinero se queda en el país, mientras que en el caso del bunker es sólo un 14% con un inversionista extranjero y 30% con un inversionista nacional (para las cifras exactas véase al

---

<sup>a</sup>En realidad, si el coste de la electricidad a partir de biomasa fuera más alto, el gobierno podría tener que dar una subvención para hacer que una fuente de energía más cara pero deseable compita en el mercado, o un inversionista privado recibiría una ganancia menor, porque la tarifa por kWh que se obtiene podría estar basada en el principio de coste evitado. Si el coste de electricidad a partir de biomasa fuera más barato, un inversionista recibiría una ganancia mayor. Ambos casos muestran que el valor agregado está directamente influenciado por esta corrección.



Cuadro 13).

#### *Resultados de la generación de empleo*

No existe gran diferencia entre la generación de empleo de medio y alto coste de las dos cadenas (Cuadro 14 y Figura 9). La explicación para esto es que esos trabajos se encuentran dentro de la etapa de la conversión de la cadena de energía, que es relativamente comparable en las dos cadenas. Sin embargo, hay una gran diferencia en la generación de empleo de bajo coste. La electricidad a partir de eucalipto genera una cantidad de puestos de trabajo 29 veces superior a la del bunker. Incluyendo el empleo de alto y medio coste, la diferencia es de factor 3.5.

#### *5.2.2. Resultados socioeconómicos cualitativos*

En este párrafo se discuten los efectos socioeconómicos potenciales de la generación de electricidad a partir de bagazo durante la zafra. Se puede diferenciar en los efectos de la planta eléctrica y los efectos de la producción del combustible.

Los efectos socioeconómicos de la inversión, la operación y el mantenimiento de la planta eléctrica son comparables (independientemente de la suposición sobre el valor del bagazo) con los de la planta eléctrica con eucalipto como combustible (durante la no-zafra). Esto significa que (antes de la corrección) un 71% de este coste es valor agregado y se queda en el país.

En relación con el efecto socioeconómico del bagazo, se puede decir que si su valor es cero, su efecto socioeconómico también es cero. Pero, si suponemos que el precio que obtendrá el ingenio por la venta de su electricidad no cambia, su ganancia será mayor, lo que significa que la parte de valor agregado después de la corrección podría ser mayor que en el caso del eucalipto. No obstante, la generación de empleo, en este caso, es cero por definición.

En el caso en que se supone que el coste del bagazo es igual al coste del eucalipto, hay que calcular qué parte del coste de la caña integrada se puede asignar a la producción del bagazo. La producción de la caña, a su vez, tiene una parte de valor agregado (p.e. mano de obra) y una parte que es importación (p.e. pesticidas, fertilizante y combustible para tractores). Cuantificaremos estos efectos en trabajos posteriores.

## 6. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS MEDIOAMBIENTALES

### 6.1. Metodología y datos del input para la evaluación de los efectos medioambientales

#### 6.1.1. Metodología para el análisis cuantitativo

La parte cuantitativa de esta evaluación de la cadena de biomasa se limitó a la época de la no-zafra. El uso de la energía fósil y la emisión de CO<sub>2</sub> se cuantificaron sobre la cadena total, incluyendo los efectos indirectos. Las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden determinarse a partir del uso de la energía fósil utilizando los factores de emisión de CO<sub>2</sub> (Cuadro 11). La emisión de CO<sub>2</sub> de la combustión de eucalipto no ha sido incluida en el análisis, porque es igual al consumo de CO<sub>2</sub> durante el crecimiento de esos árboles. En este ciclo corto de carbono, la emisión de CO<sub>2</sub> durante la conversión es cada año igual al consumo de CO<sub>2</sub><sup>a</sup>.

La evaluación del consumo directo e indirecto de combustible fósil dentro de las fronteras de Nicaragua puede ser valorada bastante fácilmente basándose en los resultados de la evaluación macroeconómica, ya que uno de sus resultados es el consumo indirecto de diesel, bunker, gasolina y lubricante (incluyendo la etapa de la refinería). Para determinar el uso de la energía durante la exploración, explotación y transporte del crudo, se utilizaron datos bibliográficos. Se ha asumido aquí que el crudo proviene de Venezuela, el país con la mayor producción petrolífera cerca de Nicaragua (Cuadro 11).

Además se ha incluido una estimación del uso de la energía indirecta para la producción de bienes de capital, basada en un parámetro derivado estadísticamente, que expresa el uso de energía por dólar invertido. Los gastos totales de bienes de capital directos e indirectos también se derivaron de la evaluación macroeconómica. Finalmente, se ha incluido también la energía necesaria para producir los pesticidas utilizados.

La evaluación de la acidificación y las emisiones de polvo se centró en la etapa de la conversión utilizando datos bibliográficos.

#### 6.1.2. Metodología para el análisis cualitativo

Esta parte incluye un análisis cualitativo del efecto en la calidad del suelo, en la reducción del nivel del agua subterránea y en la biodiversidad, basado en gran medida en datos bibliográficos.

La evaluación medioambiental para la zafra depende del método de asignación de los efectos medioambientales de la caña a los dos productos “azúcar” y “electricidad”. Cuando no hay una relación causal entre el efecto y su producto (que es el caso de la mayoría de los efectos medioambientales aquí), se puede usar como base de asignación la relación del valor económico del bagazo (que se usa para la generación de la electricidad) y el resto de la caña.<sup>23</sup> Esta relación se podría estimar en base del coste total de la caña y un valor estimado del bagazo. Si se supone que el valor de bagazo es cero, su efecto medioambiental (con este método) también es cero. Si se supone que el bagazo tiene el mismo valor que el eucalipto, sí hay que asignar parte del efecto medioambiental de la producción de la caña a la generación de electricidad. En este informe se analiza el efecto medioambiental durante la zafra de manera cualitativa.

### 6.2. Resultados de la evaluación de los efectos medioambientales

#### 6.2.1. Resultados del análisis cuantitativo

En este párrafo se presentan los resultados cuantitativos de la evaluación medioambiental de la generación de electricidad a partir de bunker y la generación de electricidad a partir de eucalipto durante la no-zafra .

---

<sup>a</sup>Esto es válido para los 24 años de generación de electricidad. En los primeros 6 años solamente se consume CO<sub>2</sub>. Con combustibles fósiles, este ciclo de carbono es mucho más largo y , lo que es más importante, no hay un equilibrio entre el consumo y la emisión de CO<sub>2</sub>. Se puede desdeñar el consumo de CO<sub>2</sub> para la producción natural de combustibles fósiles en comparación con su emisión.

### *Uso de la energía fósil y emisiones de CO<sub>2</sub>*

La emisión de CO<sub>2</sub> de bunker es superior en factor 30 a la de eucalipto (Figura 10, 11). Es interesante que también la emisión indirecta de CO<sub>2</sub> (excluyendo el uso del bunker en la conversión) de la cadena de bunker es inferior en más de factor 2 de la cadena de eucalipto. El transporte de la madera causa aproximadamente la mitad de la emisión indirecta de la cadena de eucalipto. La producción de eucalipto constituye un 37% del input total de energía fósil, proveniente en su mayor parte de la preparación del campo y la limpieza mecánica (Figura 10, 11 y Cuadro 15).

### *Emisiones acidificadoras*

El suministrador del motor de bunker da emisiones standard de 2,245 mg NO<sub>x</sub>/MJ<sub>comb.</sub> y 1,554mg SO<sub>2</sub>/MJ<sub>comb.</sub>.<sup>a</sup> No hay disponibles datos sobre los ingenios, pero se pueden obtener datos representativos de estudios anteriores sobre plantas eléctricas de combustión de madera: 129 mg NO<sub>x</sub>/MJ<sub>comb.</sub><sup>25</sup> y 11.1 mg SO<sub>2</sub>/MJ<sub>comb.</sub>.<sup>b</sup> <sup>26</sup> En equivalentes de SO<sub>2</sub> esto significa: bunker: 3,126 mg/MJ<sub>comb.</sub> y biomasa: 101mg/MJ<sub>comb.</sub>.<sup>c</sup> A consecuencia de esto, el potencial acidificador de la planta eléctrica de bunker es unas 30 veces superior al de la planta eléctrica del ingenio a partir de madera.<sup>d</sup>

### *Emisiones de polvo*

Se supone la emisión standard de la planta de bunker de 55 mg/Nm<sup>3</sup>.<sup>24</sup> No hay datos del ingenio. Los datos de la emisión de polvo de la combustión de la biomasa sin filtrar son difíciles de conseguir, porque la legislación medioambiental normalmente exige algún tipo de filtración. Se puede dar como referencia una especificación de las emisiones de polvo de la quema de turba, inferior a 3000mg/Nm<sup>3</sup>.<sup>e</sup> <sup>27</sup> Esta cifra es aproximadamente 55 veces superior a la cifra de bunker. Es muy posible reducir estas emisiones mediante la limpieza del gas, e.g. con un precipitador electrostático, que tiene una eficacia de limpieza de entre el 95 y 99.5 %<sup>28</sup> y reduce la emisión de polvo a 15-150 mg/Nm<sup>3</sup>. La inversión adicional que sería requerida<sup>f</sup> incrementaría el coste del kWh del 4.0 con 0.2 \$ct/kWh a 4.2 \$ct/kWh (ambos para la época de la no-zafra).

### *6.2.2. Resultados del análisis cualitativo*

En este párrafo se presentan los resultados medioambientales cualitativos de la producción del eucalipto. Se incluye la repercusión en la calidad del suelo, la repercusión en el nivel del agua subterránea y el efecto en la biodiversidad. También se analizan de manera cualitativa los efectos medioambientales de la generación de electricidad a partir de bagazo durante la zafra.

Para la evaluación cualitativa de la producción del eucalipto son importantes los sistemas de referencia del uso del terreno. Nosotros no entramos en todos los tipos posibles de terreno abandonado, sino que presentamos consideraciones generales.

---

<sup>a</sup>Se han convertido los datos para facilitar la comparación. Los datos originales son: NO<sub>x</sub> : 34.4 g/s; SO<sub>2</sub>: 23.82, partículas suspendidas 0.62 g/s con un flujo de gas de 40,680 Nm<sup>3</sup>/hr.<sup>24</sup> Estos datos parecen estar basados en el uso de diesel como combustible. En la práctica, el mayor contenido en azufre del bunker puede causar emisiones de SO<sub>2</sub> más elevadas.

<sup>b</sup>Las emisiones de NO<sub>x</sub> en este estudio varían entre 25-129 mg/MJ<sub>comb.</sub>.<sup>25</sup> Se eligió el valor más elevado para reflejar la escala más pequeña de esta planta. Las emisiones de SO<sub>2</sub> provienen de plantas de calor de Austria de 4 MW<sub>t</sub>. Son bastante bajas porque el contenido de azufre de la madera es muy pequeño.<sup>26</sup>

<sup>c</sup>Para calcular el equivalente de SO<sub>2</sub> para NO<sub>x</sub>, se multiplica esta emisión por 0.7.<sup>26</sup>

<sup>d</sup>Una comparación completa debe incluir las emisiones en las etapas anteriores a la conversión y las emisiones indirectas. Ejemplos de ello son las emisiones de tractores y camiones y las emisiones del barco para el transporte de crudo.

<sup>e</sup>La combustión de leña tendrá emisiones más bajas, por su menor contenido de ceniza. La turba tiene un contenido de ceniza de un 3% y la madera (salix; sauce) varía entre el 0.9 y 3.2% (en base húmeda).

<sup>f</sup>Se estimó que un precipitador electrostático que incluya un sistema de recepción de ceniza para una planta de 30 MW<sub>e</sub> cuesta entre 65 y 115 \$/kWe. Para esta aplicación a menor escala, nosotros usamos el coste superior.<sup>27</sup>

### *Repercusión en la calidad del suelo*

Un efecto del establecimiento de una plantación de árboles es la reducción potencial de la erosión del suelo por el viento, ya que los árboles reducen la velocidad del viento.<sup>29</sup> En muchos lugares de Nicaragua éste era el propósito específico de la plantación de eucalipto. Los árboles también pueden contribuir a la prevención de la erosión del suelo mediante la creación de vegetación en el mismo. Las experiencias con eucalipto en este campo son relativamente pobres, debido a su fuerte tendencia a eliminar la vegetación del suelo. Sin embargo, el eucalipto *camaldulensis* a su vez funciona mejor que otros tipos de eucalipto debido a su estrecha copa y su orientación vertical.<sup>29</sup> La acción "ceñidora" de la estructura del suelo de las raíces de los árboles es otro medio de prevenir la erosión. En un estudio europeo sobre los efectos medioambientales de los cultivos energéticos, el eucalipto puntuó como el mejor de 10 cultivos en la prevención de la erosión, principalmente porque es un árbol de hoja perenne y por eso puede reducir la energía cinética de las gotas de la lluvia durante todo el año.<sup>30</sup> Experiencias llevadas a cabo en diversas partes del mundo han demostrado que la reforestación con eucalipto mejora la fertilidad del suelo a largo plazo.<sup>31</sup> Esto ocurre especialmente en el caso del contenido de materia orgánica. En el caso de los nutrientes, es importante controlar continuamente el suelo para prevenir la degradación causada por las sucesivas cosechas. Los nutrientes del suelo podrían ser recuperados mediante una aplicación limitada de fertilizante. El uso de pesticidas contra zompopos tiene una repercusión negativa en los organismos del suelo, aunque esto ocurre únicamente una vez cada 24 años, después del establecimiento de la plantación.

### *Repercusión en el nivel del agua subterránea*

La cantidad de precipitación que va al suelo está limitada por la evaporación directa del agua que cae sobre las hojas del árbol y por la transpiración de la planta. Investigaciones realizadas en India apuntaron hacia una disminución del 23-28% del rendimiento del agua (no interceptada por el cultivo) respecto al terreno deforestado.<sup>29</sup> La evaporación directa del eucalipto parece ser de entre 11-20% de la precipitación. Ésta es relativamente baja en comparación con la de los bosques naturales o con árboles de otras especies, pero superior a la de vegetaciones más bajas.<sup>29, 31, 32</sup> Las pérdidas por transpiración del agua son inherentes a la producción primaria de las plantas. Es específico de los árboles el que puedan extraer agua durante un periodo más largo, debido a su sistema de raíces profundas. Hasta que el eucalipto no alcance el nivel de agua subterránea (que parece ser el caso de las plantaciones nicaragienses), el consumo de agua permanece limitado a la precipitación, y por tanto no tiene un efecto directo en el nivel de agua subterránea. La producción potencial de un efecto indirecto significativo en el nivel de agua subterránea de estas plantaciones podría ser tema de una investigación posterior más amplia en este lugar. Otro efecto positivo de la reducción de erosión del suelo es una reducción de los sedimentos en el agua superficial, mejorando su calidad. Por otro lado, el uso de herbicidas y fertilizantes puede empeorar la calidad del agua subterránea.<sup>29</sup> No obstante, en este momento se usan pocos productos químicos en las plantaciones en Nicaragua.

### *Biodiversidad*

Generalmente, el eucalipto es conocido por su valor relativamente pobre para la fauna. Esto se debe principalmente a su fruto pequeño y duro y a sus delgaditas semillas, comida pobre para los pájaros, y a sus hojas, incomibles para los herbívoros. La relativamente baja cantidad de vegetación del suelo reduce aún más la biodiversidad de plantas e insectos. Sin embargo, el eucalipto resulta atractivo para las abejas, y su costumbre de hacer caer la corteza fibrosa proporciona material para los nidos.<sup>29</sup> No hay datos disponibles sobre la diferencia de la biodiversidad entre las plantaciones de eucalipto y la vegetación a la que éstas reemplazan.

*Análisis cuantitativo de los efectos medioambientales de la combustión del bagazo durante la zafra*  
También aquí se puede diferenciar entre los efectos de la planta eléctrica y los efectos de la producción del combustible.

Los efectos medioambientales de la conversión de bagazo son en buena medida comparables con los

efectos medioambientales de la conversión del eucalipto. Tampoco hay emisiones netas directas de CO<sub>2</sub>, porque la caña usa para su crecimiento la misma cantidad que la planta emite. Se espera que las emisiones acidificadoras y de polvo (partículas) sean del mismo orden que estas emisiones de la combustión de eucalipto.

El efecto medioambiental de la producción del bagazo depende de qué parte del efecto medioambiental de la producción de la caña se asigne al bagazo. Algunos efectos medioambientales de la producción de la caña son:

- Uso indirecto de combustibles fósiles para los tractores, el riego y la producción y transporte del fertilizante, combustible, pesticidas y herbicidas. Esto es más significativo que en el caso del eucalipto, porque el cultivo de la caña es más intensivo.
- Emisiones acidificadoras de los tractores y camiones (para el transporte).
- Efecto potencial en el nivel del agua subterránea por los sistemas de riego.
- Efecto en la biodiversidad. Las plantaciones de caña son monocultivos manifiestos.
- Emisiones al aire causadas por la quema de la caña.<sup>a</sup> Esto sí puede considerarse un efecto que tiene una relación causal con la producción de azúcar, porque para la producción de electricidad no es necesaria esta quema.<sup>b</sup> Desde este punto de vista, se podría asignar este efecto totalmente a la producción de azúcar.

---

<sup>a</sup>La quema de la caña tiene dos razones principales: (1) evitar a los obreros los peligros del corte manual (peligros de corte y serpientes), (2) aumentar la eficiencia de la molienda de la caña en la fábrica.

<sup>b</sup>Si no se quema la caña, también hay posibilidades de usar la paja como combustible para la generación de electricidad. Para ello podría ser necesario usar corte mecanizado, como ocurre en Cuba,.

## 7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad se centra en los costes de mano de obra y del terreno, ya que éstos son los dos componentes en la base del bajo coste, pero que también podrían mostrar incrementos significativos en el futuro. La tasa de desempleo es actualmente muy elevada en Nicaragua, lo que sitúa los salarios a un nivel muy bajo, de 2.2\$ por día. El incremento del coste de mano de obra ha sido un adelanto en muchos otros países en vías de desarrollo en momentos de mayor crecimiento económico. El precio del terreno dependerá de su demanda futura y de sus otros usos potenciales.

Los cambios de los costes laborales medios son relativamente insignificantes, especialmente para el coste del combustible (Figura 12). El precio de coste del combustible, sin embargo, está fuertemente influenciado por un incremento del coste de la mano de obra de bajo nivel. Un incremento en cinco veces llevaría al coste del combustible a 2.1 \$/GJ, mientras que en el caso improbable (a corto plazo) de un incremento en diez veces de los costes de trabajo (que en ese caso serán todavía de menos de 22\$ por día), el precio del combustible pasará a ser de unos 3.1 \$/GJ, que es todavía una cifra inferior al precio del bunker, 3.8 \$/GJ (Figura 12).

Una aumento del precio del eucalipto en 75% mantendrá todavía el coste por kWh (excluyendo el beneficio) justo por encima del coste del bunker, 5.8 \$ct/kWh (Figura 13). El efecto del beneficio se muestra mediante la línea de la TIR. Partiendo de una TIR del 11% (por tanto, sin beneficio), un aumento de la TIR en un 125% (a una TIR del 25%), da el precio incluida la ganancia.

Interesante es que doblar la distancia entre las plantaciones y el ingenio solamente aumenta el coste de la electricidad en un 8%.

Un crecimiento superior del eucalipto tiene como resultado sólo una disminución relativamente pequeña de los costes por kWh (Figura 13). Por otra parte, una disminución del 50% (a 6 ton<sub>0%</sub>/ha.año) incrementaría el precio de coste en un 1.3 \$ct/kWh.

El efecto de un incremento de la eficiencia es mayor, pero todavía pequeño si se compara con el mismo tipo de análisis de sensibilidad realizado en el contexto europeo con costes de combustible mucho más elevados (Figura 13).<sup>33, 34</sup> Los costes de inversión tienen una gran repercusión en el precio de coste, aunque este parámetro tiene que ser observado en combinación con la eficiencia. En el caso de la construcción de una nueva planta eléctrica de combustión a partir de biomasa, (e.g. no ligada a un ingenio, sino un proyecto aislado llevado a cabo por ENEL), el coste del kWh sería de unos 5.6\$ct/kWh, que es casi el mismo valor que se ha calculado para la planta de bunker<sup>a,b</sup>. Esta última, sin embargo, podría reducir costes si se lleva a cabo como una planta de 30 MW<sub>e</sub>.

A largo plazo, los costes podrían, con la tecnología de ciclo combinado de gasificación atmosférica, reducirse a 5.4 \$ct/kWh<sup>c</sup>. La disminución es relativamente baja, debido al bajo precio del combustible. Sin embargo, observando la opción más avanzada a gran escala (150 MW<sub>e</sub>) de gasificación de biomasa a presión, los costes podrían reducirse hasta alcanzar un nivel inferior al de los costes de esta opción de una modificación de la planta de un ingenio (unos 3.8 \$ct/kWh). Por supuesto, a esta escala, una alternativa fósil será también más barata que la planta de bunker presentada. Otra ventaja de una eficiencia más elevada, aparte de un coste más bajo, es que la

---

<sup>a</sup>El coste de las plantas eléctricas de combustión a partir de biomasa depende de muchos factores locales. Los costes de inversión para la quema de madera limpia se hallan en el intervalo de 1200-1900 \$/kW<sub>e</sub>, con la eficiencia variando entre el 29 y el 33 %. <sup>25</sup> Para este propósito se usará una oferta de un suministrador de la tecnología de parrilla vibrante con costes de inversión de 1800 \$/KW<sub>e</sub> y una eficiencia del 31%. <sup>27</sup>

<sup>b</sup>Hay que darse cuenta de que estas tecnologías son desarrolladas en países con precios de biomasa más altos. Tal vez, para Nicaragua, con un coste bajo de eucalipto y una tasa de descuento y una tasa interna de retorno bastante elevadas, resultaría mejor desde el punto de vista económico usar tecnologías con eficiencias un poco más bajas, pero con inversiones menores. Las cifras que se mencionan aquí en relación con una planta nueva, no tienen ninguna optimización de su relación entre la eficiencia y las inversiones.

<sup>c</sup>La gasificación atmosférica puede tener costes de inversión para una "planta n" de 1870 \$/kW<sub>e</sub> y una eficiencia del 40% <sup>35</sup>, mientras que la cifra de gasificación a presión a gran escala se basa en costes de inversión de 1070 \$/kW<sub>e</sub> y una eficiencia del 46%. <sup>36</sup>

cantidad de suelo que se necesita es menor.

Hay que darse cuenta de que éstos son costes sin ganancia. Para obtener una tasa interna de retorno del 25%, las ganancias obtenidas a partir de estas tecnologías tienen que ser muy altas, porque requieren inversiones bastante elevadas. Para la planta de combustión el precio será 9.9 \$ct/kWh y para los dos gasificadores 9.6 y 6.5 \$ct/kWh respectivamente.

## 8. ALGUNAS BARRERAS NO TÉCNICAS Y RIESGOS POTENCIALES

### 8.1. Barreras no técnicas

Como en la introducción de cualquier nuevo tipo de tecnología y sistema agrícola, nos encontramos con barreras no técnicas. En este caso se ha puesto el interés en algunas barreras no técnicas y riesgos potenciales que son característicos del contexto nicaragüense.

El mayor obstáculo para las inversiones a largo plazo en este momento en Nicaragua lo constituye el tema de la propiedad. Se discute ahora la posibilidad de devolución a sus propietarios anteriores de muchas propiedades que fueron confiscadas durante el gobierno sandinista. La muy poco clara situación actual crea una gran incertidumbre y, con ello, un clima poco propicio para las inversiones. Esto constituye un problema especialmente para este tipo de plantaciones forestales, que siempre tiene un horizonte de planificación relativamente lejano.

Otras razones para la precaución a la hora de hacer nuevas inversiones dentro de la industria azucarera es el plan del actual gobierno neoliberal de reducir los impuestos de importación del azúcar. Ya que las industrias azucareras de todo el mundo están todavía fuertemente protegidas, con precios mundiales de mercado mucho más bajos que el precio de coste del azúcar, esto constituiría una seria amenaza para la industria azucarera nicaragüense. El resultado de estos problemas es que los ingenios tienden a centrarse en su negocio nuclear, hacer azúcar, y pueden perder así la oportunidad de hacer sus fábricas más competitivas vendiendo la electricidad como coproducto.

Un problema técnico de algunos ingenios de América Central y del Caribe en general es que tienden a tener un número de calderas relativamente alto. Esto se ha hecho siempre para conseguir una fiabilidad elevada en el proceso de la molienda del azúcar. La desventaja es que la eficiencia es relativamente baja, debido a la falta de economías de escala. En el sector de la generación de electricidad, sin embargo, el desarrollo durante la última década ha estado más orientado a la instalación de **una** caldera por planta (hasta unidades de 600 MW<sub>e</sub>), pero con un alto nivel de control automático. Un adelanto en esa dirección incrementaría el rendimiento y reduciría los costes de inversión en el ingenio.

### 8.2. Riesgos potenciales

Un riesgo que es necesario mencionar es el hecho de que las plantas eléctricas a partir de eucalipto están situadas en un entorno en el que ya existe un mercado de leña, basado en gran medida en la insostenible extracción de madera de los bosques naturales. Hay que procurar evitar que en el futuro, en caso de que se produzca una escasez de madera, los ingenios compren la madera en este mercado, forzados por los estrictos contratos de suministro de electricidad y los altos precios del bunker. Esto dañaría el carácter renovable de este tipo de generación. Es responsabilidad de los ingenios el prevenir estas situaciones mediante una planificación precisa de su suministro de combustible. Además, el gobierno podría tomar parte en el control del suministro de madera a los grandes consumidores de la misma.

Una vez probada en la práctica la viabilidad financiera y económica de este tipo de generación de electricidad, otra tarea del gobierno podría ser controlar el tipo de terreno que se usará para este tipo de plantaciones. No parece deseable que se utilicen para este tipo de actividades los bosques naturales existentes y otras valiosas áreas naturales. La atención deberá dirigirse más bien hacia las situaciones en que ambos salgan ganando, en que la viabilidad financiera se combine con efectos beneficiosos para el suelo. La atención debería dirigirse, por tanto, hacia los suelos degradados y marginales que no tienen otro uso y hacia terrenos de escaso valor natural.



## 9. DISCUSIÓN

- Hay que darse cuenta de que los resultados actuales son válidos bajo la asunción de que las plantaciones de eucalipto reemplazan a terreno sin uso económico anterior. Si las plantaciones reemplazaran a actividades agrícolas, cambiarían los resultados de la evaluación de los efectos tanto medioambientales como macroeconómicos. Desde un punto de vista medioambiental, la situación podría mejorar en ese caso para la opción de la biomasa, porque, en comparación con la mayoría de los cultivos agrícolas, el eucalipto es un cultivo relativamente extensivo. En términos de repercusiones macroeconómicas, el reemplazo de cultivos agrícolas constituiría una desventaja para el caso de la biomasa, pues habría que importar productos agrícolas que de la otra manera se hubieran producido. Estudios anteriores demostraron que la sustitución del grano por cultivos energéticos en un caso holandés resultó significativamente peor para la economía holandesa, en comparación con la sustitución de terreno sin uso económico previo.<sup>21</sup>
- Los costes del eucalipto se encontraron muy bajos (1.3 \$/GJ), especialmente comparados con los estudios europeos que han encontrado costes entre 5-15 \$/GJ (excluyendo posibles subvenciones).<sup>33, 34</sup> Las principales diferencias se basan en los costes diferentes del terreno y de la mano de obra. Si el caso nicaragüense hubiera tenido los mismos costes laborales y de terreno que el europeo, el coste del combustible resultante hubiera variado entre 6 y 9 \$/GJ.<sup>a</sup>
- La inversión en la planta eléctrica del ingenio es muy baja (aproximadamente de 500 \$/kW<sub>e</sub>). Estudios anteriores indicaron que las inversiones para nuevas plantas de combustión a partir de biomasa se encuentran en el intervalo de 1200 - 1900 \$/kW<sub>e</sub>. Desde el punto de vista económico (con el coste de eucalipto igual al de Nicaragua) puede ser más interesante buscar un equipo de segunda mano con una eficiencia inferior, pero con un coste más bajo. Una baja eficiencia sí siempre empeora el efecto medioambiental de la planta eléctrica. De todos modos San Antonio tuvo la suerte encontrar una turbina muy barata y casi nueva. Tal vez otros ingenios en el futuro tengan que hacer inversiones más elevadas o encuentran equipo más vieja, con menos vida útil sobrante. Hay que tener cuidado con generalizar las bajas inversiones de la planta eléctrica del ingenio San Antonio.
- La base científica con que se valoran actualmente los rendimientos del eucalipto es muy débil. Las experiencias en el ingenio Victoria de Julio muestran crecimientos medios de 7 ton<sub>0%</sub>/ha.año en la primera rotación y de 10 ton<sub>0%</sub>/ha.año en la segunda. El suelo, la precipitación y el mantenimiento (debido a la falta de dinero para este propósito) son claramente más pobres en este ingenio en comparación con el ingenio San Antonio, siendo éste el ingenio donde tiene lugar el crecimiento de eucalipto. Esto hace que la estimación de 12 ton<sub>0%</sub>/ha.año parezca bastante razonable.

---

<sup>a</sup>Se usan datos sobre Irlanda con un coste de mano de obra de 8.5 \$/hr y de terreno entre 200-825 \$/ha.año (reflejando el ingreso que requiere el campesino).<sup>34</sup>

## 10. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La producción de electricidad obtenida de bagazo y eucalipto en ingenios azucareros (durante todo el año) tiene un precio de coste más bajo (3.7 \$ct/kWh) que la electricidad obtenida de bunker (5.7 \$ct/kWh) en Nicaragua (Cuadro 16, 17). Incluso si hay que obtener un beneficio significativo (TIR del 25%), el precio por kWh es más bajo, 5.7 para la biomasa, en comparación con 6.8 \$ct/kWh. En este cálculo se supuso que el valor de bagazo es igual al coste del eucalipto. Si suponemos que el bagazo no tiene valor económico, el coste de la generación de electricidad durante todo el año será de 2.8 \$ct/kWh sin ganancia y de 4.3 \$ct/kWh con ganancia.

Si el eucalipto tuviera que quemarse independientemente de los ingenios, en una planta eléctrica convencional de combustión de nueva construcción, los costes serían todavía casi iguales al coste de la electricidad de bunker, ambos sin ganancia (que podría ser representativa si ENEL es el inversionista). En el caso de que haya que obtener una tasa interna de retorno de 25%, una planta nueva a partir de eucalipto en Nicaragua sería todavía más cara, porque la ganancia tiene que ser muy alta.

La electricidad obtenida de eucalipto implica que permanece en la economía nicaragüense una parte mucho mayor de su precio de coste (73%) que en el caso de la electricidad obtenida de bunker (14 o 30%, dependiendo de si el inversionista es nacional o no). Aún más, crea una cantidad de puestos de trabajo de bajo coste mayor que la electricidad de bunker (45 frente a 1.6 puestos de trabajo/MW). En una economía con una tasa de desempleo tan alta y con una balanza de pagos tan negativa como la economía nicaragüense, esto debería ser para el gobierno señal de que la electricidad de los cultivos energéticos debe ser seriamente considerada como una importante opción para el futuro de Nicaragua. Se aconseja al gobierno nicaragüense que estimule a los ingenios para que fomenten este tipo de inversiones y que elimine posibles barreras que puedan encontrar. Una política deseable sería la basada en contratos de suministro flexibles, con pequeños castigos durante los primeros años para adquirir experiencia en este tipo de generación de electricidad y tarifas de kWh para la electricidad generada que reflejen los costes evitados reales.<sup>37</sup>

Desde un punto de vista medioambiental, vemos que si las plantaciones de eucalipto se sitúan en suelos marginales y degradados, inadecuados para otros propósitos, este tipo de generación de electricidad puede reducir la erosión del suelo y mejorar su contenido de materia orgánica. Se requiere una investigación más profunda de los límites de consumo de agua del eucalipto para evitar problemas con el nivel del agua subterránea.

Las emisiones acidificadoras locales serán significativamente inferiores con este tipo de energía a partir de biomasa. Si no se filtran, las emisiones de polvo pueden resultar un problema que, sin embargo, puede solucionarse mediante la limpieza del gas lo que aumentaría el precio de coste en unos 0.2 \$ct/kWh.

El mayor beneficio medioambiental desde un punto de vista global es el muy bajo input de combustible fósil que se necesita para la cadena del eucalipto, sólo un 4% del output de energía, si se compara con un 109% de la cadena del bunker. La emisión relacionada de CO<sub>2</sub> de la cadena de biomasa es inferior en factor 30 a la del bunker.

Observando los debates internacionales actuales sobre el efecto invernadero y las reducciones de la emisión de CO<sub>2</sub> (sobre todo la conferencia de Kyoto), habría también buenas oportunidades para la “actuación conjunta” (Joint Implementation) en este campo, que haría este tipo de electricidad aún más competitiva.

Para asegurar un futuro sostenible para la electricidad obtenida a partir de biomasa en Nicaragua, el gobierno debería adoptar una política clara de desarrollo de estas oportunidades. Debería también tomar parte en el establecimiento de directivas respecto al tipo de terreno que podría usarse con este propósito y evitar que la madera se compre en el ya existente e insostenible mercado de madera de combustión en Nicaragua.

## 11. DESEABLE TRABAJO POSTERIOR

Este informe artículo debería ser considerado como un primer paso en la evaluación de la electricidad obtenida a partir de cultivos energéticos en Nicaragua. Hay un ciertos campos que requieren estudios más profundos. Se mencionarán los más importantes.

- La atención de este estudio se dirigió sólo hacia grandes plantaciones de propiedad centralizada por el ingenio. El actual proyecto de Los Maribios en Nicaragua prueba que hay una muy buena oportunidad de involucrar a los campesinos de pequeña escala, con sistemas agroforestales sostenibles en el suministro a una planta eléctrica de eucalipto u otros cultivos energéticos. Esto podría tener incluso efectos socioeconómicos más positivos que los del caso considerado en este informe, proviniendo principalmente de una mejor distribución de ingresos. Es deseable una evaluación comparativa de los efectos de un caso de estudio tal.
- Se podría prestar una mayor atención a la integración en la red de la generación de electricidad durante todo el año de los ingenios a partir del bagazo y el eucalipto. Habría que centrarse en la resolución de problemas tales como el suministro variable de electricidad y en la investigación de oportunidades tales como la generación de electricidad en las horas punta durante la zafra.
- Desde un punto de vista metodológico, es deseable una investigación más profunda de la diferencia existente entre la metodología aplicada y el análisis con el MIP standard. Podrían aplicarse las Matrices de Contabilidad Social para explorar más ampliamente los efectos en la distribución de los ingresos.
- Podría realizarse una evaluación más amplia de los efectos medioambientales potenciales, incluyendo los efectos medioambientales de la utilización de bagazo. La herramienta preferible es la metodología standard de evaluación del ciclo vital. Sin embargo, está claro que los datos para este propósito son escasos. Por una parte se pueden usar datos bibliográficos, y por otra parte se pueden hacer recomendaciones a los creadores de la política en Nicaragua, considerando la necesidad de varios datos para tales evaluaciones.
- Debería mejorarse la estimación del crecimiento del eucalipto con una mejor base científica. Los modelos de crecimiento, incluyendo los crecimientos ya conocidos en Nicaragua en la práctica, parecen ser buenas oportunidades para ello.
- El efecto potencial de las plantaciones de eucalipto en el nivel del agua subterránea debería estudiarse con más detalle para evitar problemas en el futuro.
- Podría llevarse a cabo en los ingenios una colecta estructural de datos sobre las características del suelo, para investigar los efectos en el contenido de materia orgánica y nutrientes, y para prevenir la degradación del suelo a largo plazo.
- Parece deseable crear modelos de la etapa de la conversión de la biomasa para evaluar de manera más precisa la eficiencia de la quema de madera y para poder evaluar las diferentes rutas de conversión (e.g. gasificación, y a largo plazo la producción de combustibles para la exportación, como el hidrógeno y el metanol).
- Se deberían investigar estrategias logísticas alternativas para minimizar el coste y el efecto medioambiental del suministro de la madera de combustión en distintas circunstancias.
- Es importante investigar la disponibilidad del terreno potencial para cultivos energéticos en Nicaragua. Esto podría, junto con más detalles de las fuentes residuales de biomasa, generar una **mapa de disponibilidad potencial de biomasa en Nicaragua**, esencial para la actuación política.

## **12. PALABRAS DE AGRADECIMIENTO**

Los autores quieren agradecer a muchas personas en Nicaragua la ayuda que obtuvieron durante el trabajo de campo. Con el riesgo de olvidar a algunas, nos gustaría dar las gracias particularmente a Pedro Silva de la Maza, Aldo Bendaña, Juan Fernando Ramírez, Elsa Mendoza y muchas más personas del ingenio San Antonio, Ricardo Coronel y otras del ingenio Victoria de Julio, muchas personas de ENEL, y la gente tan entusiasta de Proleña: Serafín Filomeno Alves-Milho, Rogério Carneiro de Miranda y sobre todo María Engracia Detrinidad, que fue imprescindible durante toda esta investigación.

También expresamos nuestro agradecimiento a Miguel Trossero del Departamento de Montes de la Dirección de Productos Forestales de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) por iniciar este proyecto y por financiarlo.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Broek, R. van den, R. Carneiro de Miranda, y A. van Wijk, Combined heat and power generation from bagasse and eucalyptus by sugarmills in Nicaragua, en *Third biomass conference of the Americas* (R. Overend and E. Chornet, Eds.), pp. 1389-1400. Pergamon, Montreal (1997).
2. Broek, van den R. y A. van Wijk, La generación de electricidad a partir de eucalipto en ingenios azucareros en Nicaragua: Costes, aspectos macroeconómicos y medioambientales, en *Reunión regional sobre la biomasa para la producción de energía y alimentos*, Havana (1997).
3. INE, *Balance energético nacional: 1995*. Instituto Nicaragüense de Energía: Dirección General Desarrollo Energético, Managua (1996).
4. INE, *Compendio Estadístico: 1991-1995*. Instituto Nicaragüense de Energía: Dirección General Desarrollo Energético, Managua (1996).
5. INE, *Plan de expansión del sistema de generación del sistema interconectado nacional: 1996-2015*. Instituto Nicaragüense de Energía: Dirección General Desarrollo Energético, Managua (1996).
6. FIDEG, Valoración del comportamiento económico 1996. *El Observador económico* **1996**, 5-21 (1996).
7. Asamblea nacional de la República de Nicaragua, *Ley de la industria eléctrica: versión provisional*. Managua (1997).
8. Gonzalez, N., *AMFELS vende la energía mas barata*, in *La Prensa*. 1997, Managua. p. 6A.
9. CNPA, *Breve reseña histórica de la agroindustria azucarera Nicaragüense: zafras 1993/94 a 1995/96*. Comité Nacional de Productores de Azúcar, Managua (1996).
10. Zavala, J., Comunicación personal, Ingenio San Antonio, Chichigalpa, 1997.
11. Coronel, R., Comunicación personal, Agroinsa, S.A., Tipitapa, 1997.
12. Silva de la Maza, P., Comunicación personal, Nicaragua Sugar Estate Ltd., Chichigalpa, 1997.
13. Zapata Rodriguez, G., *Experiencias del proyecto Los Maribios en reforestación energética con participación campesina*. Proyecto Los Maribios, Leon (1997).
14. Bendaña, A., Comunicación personal, Nicaragua Sugar Estate Ltd., Chichigalpa, 1997.
15. Fernando Ramírez, J., P. Silva de la Maza, D. Morice, y J. Perez, *Ingenio San Antonio: proyecto energético forestal*. Nicaragua Sugar Estate Ltd., Chichigalpa (1994).
16. Akesson, H., *Informe de consultoria forestal, primera etapa*. Miami (1997).
17. Broek, R. van den y A. van Wijk, The role of reference systems and land-use in LCA of biomass energy, en *Environmental impact of biomass for energy* (G. van der Bijl and Biewinga, Eds.), pp. 19-24. CLM, Noordwijkerhout (1996).
18. Mojica, F., Comunicación personal, ENEL, Managua, 1997.
19. Perez, J., Comunicación personal, Nicaragua Sugar Estate Ltd., Chichigalpa, 1997.
20. Fernando Ramírez, J., Comunicación personal, Nicaragua Sugar Estate Ltd., Managua, 1997.
21. Vlasblom, J., *Do energy crops boost the economy? : an assessment of the national and regional economic impacts of electricity from energy crops*. No. 97031. Department of Science, Technology and Society, Agricultural Economics Research Institute, Utrecht (1997).
22. Secretaria de planificación y presupuesto, *Matriz de insumo-producto de Nicaragua: año 1986*. Secretaria de planificación y presupuesto, Dirección de cuentas nacionales, Managua (1990).
23. Wegener Sleswijk, A., R. Kleijn, M.J.G. Meeuwssen, H. Leneman, H.H.W.J.M. Sengers, H. van Zeijts, y J.A.W.A. Reus, *Aplicación de la metodología del Ciclo de Vida para la agricultura (en Holandes: Toepassing van LCA voor agrarisch producten : 1. Methodische kernpunten; 2. Aanvulling op de Handleiding LCA; 3. Methodische achtergronden)*. CML, LEI-DLO, CLM, Leiden (1996).
24. Savunen, T. y A. Karppinen, *Wärtsilä diesel power plants: dispersion of exhaust gases from a diesel power plant in Managua, Nicaragua*. Finish Meteorological Institute, Helsinki (1996).
25. Broek, R. van den, A. Faaij, y A. van Wijk, Biomass combustion for power generation. *Biomass and Bioenergy* **11**, 271-281 (1996).
26. Kaltschmitt, M. y G. Reinhardt, *Nachwachsende energieträger: Grundlagen, Verfahren, Ökologische Bilanzierung*, Vieweg, Braunschweig (1997).
27. Broek, R. van den, G. Blaney, y A. Faaij, *Retrofit options to enable biomass firing at Irish peat plants*. No. 95030. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, (1995).
28. Ree, R. van, A. Oudhuis, A. Faaij, y A. Curvers, *Modelling of a biomass integrated gasifier/combined cycle (BIG/CC) system with the flowsheet simulation programme ASPEN+*. Netherlands Energy Research Foundation, Utrecht University, department of Science, Technology and Society, Petten (1995).
29. Evans, J., *Plantation forestry in the tropics*, second, Clarendon Press, Oxford (1996).
30. Biewinga, E. y G. van der Bijl, *Sustainability of energy crops in Europe: a methodology developed and applied*. No. CLM234-1996. CLM, Utrecht (1996).
31. Couto, L. y D.R. Betters, *Short rotation eucalyptus plantations in Brazil : social and environmental issues*. No. ORNL/TM-12846. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge (1995).
32. Poore, M. y C. Fries, *Les effets écologiques des eucalyptus*. No. 59. FAO, Roma (1986).
33. Lysen, E., C. Daey Ouwens, M. van Onna, K. Blok, P. Okken, y J. Goudriaan, *The feasibility of biomass production for the Netherlands energy economy*. NOVEM, Utrecht (1992).
34. Broek, R. van den, A. Faaij, A. van Wijk, T. Kent, K. Healion, W. Dick, G. Blaney, y M. Bulfin, Willow firing in retrofitted Irish peat power plants. *Biomass and Bioenergy* **12**, 75-90 (1997).

35. Faaij, A., R. van Ree, y A. Oudhuis, *Gasification of biomass wastes and residues for electricity production: Technical, economic and environmental aspects of the BIG/CC option for the Netherlands*. No. 95035. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Utrecht (1995).
36. Craig, K., M. Mann, y R. Bain, Cost and performance potential of advanced integrated biomass gasification combined cycle power systems. *IGTI* 9, 641-654 (1994).
37. Barrios, R., Comunicación personal, Nicaragua Sugar Estate Ltd., Managua, 1997.
38. Morazan, J., *Diversificación de la agroindustria azucarera en Honduras*. ENEE, Tegucigalpa (1997).
39. Unidad de planeamiento operativo y estadísticas de ENEE, *Informe anual de operación; 1996*. ENEE, Tegucigalpa (1996).
40. Villeda, C., De energía y alimentos: informe nacional para Honduras, en *Reunión regional sobre la biomasa para la producción de energía y alimentos*, Havana (1997).
41. Secretaría técnica y de cooperación internacional, Dirección de inversiones y proyectos, *Hacia el aprovechamiento racional de los recursos naturales: estrategia de política para el desarrollo sostenido del sector energético nacional*. Tegucigalpa (1997).
42. Morazan, J., Comunicación personal, ENEE, Tegucigalpa, 1997.
43. Winrock Int., *Energy from sugarcane cogeneration in Honduras*. (1993).
44. Rebollo, L., Comunicación personal, Proyecto Gauree, Tegucigalpa, 1997.
45. Lima, R. y R. Irias, Comunicación personal, Biogen, Tegucigalpa, 1997.
46. Fiallos, F., Comunicación personal, Asociación de Productores de Azúcar de Honduras, Tegucigalpa, 1997.
47. Valenzuela, M., Comunicación personal, Azucarera Yojoa, S.A. de C.V., San Pedro Sula, 1997.
48. Samour, E., Comunicación personal, Azucarera La Grecia, S.A. de C.V., Choluteca, 1997.
49. Miguel Yibrin, M., Comunicación personal, Compañía azucarera Tres Valles, S.A. de C.V., San Juan Flores, 1997.
50. Pilz, G., Comunicación personal, Escuela agrícola panamericana "Zamorano", Tegucigalpa, 1997.
51. Carias, B., Comunicación personal, Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, Tegucigalpa, 1997.
52. Departamento de planificación de COHDEFOR, *Anuario estadístico forestal: 1996*. COHDEFOR, Tegucigalpa (1997).
53. Segura, O., D. Kaimowitz, y J. Rodríguez, *Políticas forestales en Centro América: análisis de las restricciones para el desarrollo del sector forestal*.
54. Ordóñez, V., Comunicación personal, Tabacalera Hondureña, San Pedro Sula, 1997.
55. Carneiro de Miranda, R., *Las plantaciones energéticas en Honduras: el estado actual y las perspectivas futuras*. Proleña Honduras, Tegucigalpa (1996).
56. Carranza, C., Comunicación personal, COHDEFOR, Tegucigalpa, 1997.
57. ENEE, *Honduras: Plan Maestro del sistema eléctrico*. (1995).
58. Coello Midence, S. y J. Matute Carcamo, Comunicación personal, ENEE, División de planificación, Tegucigalpa, 1997.
59. Torres, J., Comunicación personal, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, 1997.
60. Comisión nacional de energía, *Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía*. La Habana (1993).
61. Torres, J., Apuntes para una política dirigida a la energética sustentable en Cuba, en *Reunión de expertos del PNCT: "Desarrollo energético sostenible"*, La Habana (1997).
62. Detrinidad, M., *Informe de la agroindustria azucarera de Nicaragua*. Proleña, Managua (1997).
63. Fiandor, H., W. Gómez, y J. Torres, *La biomasa cañera como portador energético: potencialidades*. Instituto nacional de investigaciones económicas, La Habana (1994).
64. Padrón, R., Comunicación personal, Ministerio de agricultura, Departamento Forestal, La Habana, 1997.
65. Cruz, F., Comunicación personal, Dirección de Energética, Ministerio de Azúcar, La Habana, 1997.
66. Detrinidad, M.E., *Promoviendo la dendroenergía en Nicaragua; Visita técnica al ingenio azucarero Agroinsa y al proyecto Los Maribios en Nicaragua*. MARENA - FAO, Managua (1996).
67. York, M., Comunicación personal, Michael York and Associates, Managua, 1997.
68. Bermudez, R., Comunicación personal, ENEL, Managua, 1997.
69. Mendoza, E., Comunicación personal, Nicaragua Sugar Estate Ltd., Chichigalpa, 1997.
70. González, J. y W. Casanova, Comunicación personal, Cisa Agro, Departamento de Importaciones, Managua, 1997.
71. Broek, R. van den, A. Faaij, y A. van Wijk, *Biomass combustion power generation technologies*. No. 95029. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, (1995).
72. Chávez, M., Comunicación personal, ENEL, Managua, 1997.
73. Talvitie, E., *Diesel power plant technical specification for Empresa Nicaragua de Electricidad (ENEL): project no.6581*. Wärtsilä Diesel power plants, (1996).
74. Romero, F., Comunicación personal, Nicaragua Sugar Estate Ltd., Managua, 1997.
75. Valladares, J., D. Silva, y V. Hraste, Comunicación personal, ESSO refinería, Managua, 1997.
76. Palma, F., Comunicación personal, SECCSA, Managua, 1997.
77. Korevaar, E.M., *Bruikbaarheid van produktbeleid in de olievoorziening als aanvulling op doelgroepenbeleid; LCA-studie aan de hand van de case: 'Ontzavellen van bunkerolie'*. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands (1996).
78. Heijningen, R.J.J. van, J.F.M. de Castro, E. Worrell, y J.H.O. Hazewinkel (eds.) *Meer energiekentallen in relatie tot preventie en hergebruik van afvalstromen*; Castro Consulting Engineer: Amersfoort; 1992.
79. Frischknecht, G., *Okoinventare von energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von energiesystemen und den einbezug von energiesystemen in ökobilanzen für die Schweiz*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Zurich (1996).

## APPENDIX 1. SITUACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR INGENIOS AZUCAREROS EN HONDURAS

### A.1.1. Descripción de la situación existente

#### *La industria eléctrica*

La capacidad instalada del sistema interconectado de Honduras es de 720 MW<sub>e</sub>, de los que un 60% proviene de hidroeléctricas y un 40% de plantas térmicas a partir de petróleo<sup>38</sup>. En términos de energía eléctrica generada, las hidroeléctricas en 1996 constituyeron el 67% de la generación total, con una contribución de las plantas térmicas del 33%<sup>39</sup>. La electricidad constituye un 8% del consumo final de energía en Honduras<sup>40</sup>. Se estima que la capacidad instalada tiene que crecer en el futuro un 5.2% por año, lo que significa que la capacidad tiene que doblarse en menos de 14 años. En el Plan Maestro de Honduras, este aumento de capacidad en gran medida provendrá de plantas térmicas y nuevas hidroeléctricas. No se menciona la posibilidad de generar electricidad a partir de cultivos energéticos, pero sí la de que los ingenios vendan electricidad a la red nacional a partir de bagazo. También se menciona la posibilidad de usar plantaciones energéticas en plantas térmicas en *La estrategia de política para el desarrollo sostenido del sector energético nacional* de la Secretaría técnica y de cooperación internacional<sup>41</sup>.

La *Ley Marco del Sub-Sector Eléctrico*, de noviembre de 1994, permite la participación del sector privado en la generación de electricidad. Se puede vender la electricidad directamente a un gran consumidor o a una empresa distribuidora. Otra posibilidad, si la iniciativa es privada, es vender a ENEE por un precio igual al coste marginal de corto plazo. Si la compraventa es promovida por ENEE, la tarifa será la que resulte de la respectiva licitación de los términos del contrato<sup>38</sup>. El problema es que el cálculo en este momento da como resultado que este coste marginal a corto plazo es solamente de 4.6 \$cent/kWh. Se está revisando este número, que puede tener como resultado un aumento a 6.1 \$cent/kWh. En el pasado, durante la crisis energética de 1994, los precios de las plantas térmicas a partir de petróleo eran (por decreto nacional) del orden de 9-10 \$cent/kWh<sup>42</sup>. Winrock calculó el coste marginal a largo plazo en 8.8 \$cent/kWh.<sup>43</sup> Para incentivar la generación privada, se ofrece también la exoneración de algunos impuestos (p.e. el impuesto sobre la renta).

El proyecto Gauree en este momento ofrece asistencia para estudios de preinversión para proyectos de generación privada a partir de (entre otros) biomasa.<sup>44</sup>

El proyecto Biogen podría empezar la construcción de las primeras dos plantas eléctricas a partir de biomasa en Honduras. Hay planes claros para la construcción de dos plantas de 15 MW<sub>e</sub> cada una, una en Guaimaca a partir de residuos forestales y otra en Savá a partir de residuos agrícolas.<sup>45</sup>

#### *La industria azucarera*

En Honduras en 1996 se produjeron 233,000 toneladas de azúcar en 7 ingenios<sup>46</sup> en 42,000 hectáreas. La molienda de los ingenios varía entre 1,800 y 7,000 toneladas de caña por día con una producción total de bagazo de 1,270,000 toneladas por año.<sup>38</sup>

En 1993 se realizó un estudio sobre la posibilidad de la generación de electricidad a partir de bagazo en los ingenios azucareros, en el que se concluyó que los ingenios pueden generar 58.3 MW<sub>e</sub>.<sup>43</sup> Durante la zafra su propio consumo total es de 16.3 MW<sub>e</sub>, el remanente se puede exportar al sistema interconectado nacional. Cuando se usa bunker C como combustible fuera de la zafra, se puede generar un 87% de esta capacidad por un coste más bajo que el coste marginal a largo plazo de ENEE (8.8 \$cent/kWh). En este estudio no se tuvo en cuenta la posibilidad de usar cultivos energéticos durante la no-zafra.

En el momento de la visita (junio 1997) ningún ingenio todavía vendía electricidad a la red nacional. El ingenio de Yojoa estaba a punto de comenzar una venta de 2 MW<sub>e</sub> a la red nacional durante la zafra (de los 6 MW<sub>e</sub> que se genera en total a partir de bagazo), como resultado de un aumento de la presión del vapor en las calderas del ingenio.<sup>47</sup> Hay más ingenios interesados en la cogeneración, pero también hay otros que no lo están. Un ejemplo del último grupo es el ingenio La Grecia al sur del

país, donde se dice que no se quiere invertir más dinero hasta que la producción del azúcar alcance su capacidad máxima.<sup>48</sup> Interesante es el ingenio El Porvenir, el más cerca de Tegucigalpa, donde sí hay interés en la venta de electricidad durante todo el año y donde también existe la posibilidad de una colaboración con la escuela agrícola panamericana *Zamorano*, que también tiene interés en el manejo sostenible de sus bosques de pino y en estimular plantaciones energéticas en los alrededores.<sup>49-51</sup> Una ventaja es que ellos ya tienen buenos contactos con los campesinos.

#### *El sector forestal en relación con las plantaciones energéticas*

Un 53.2% de la superficie total de Honduras tiene cobertura forestal. El área deforestada es de 1.65 millones de hectáreas (15% del área total)<sup>52</sup>. El 87% de la superficie total tiene vocación forestal<sup>53</sup>. No hay mucha experiencia con plantaciones energéticas en Honduras. El proyecto COHASA estableció 1,400 hectáreas de plantaciones de varias especies en la parte sur del país y también hay casi 300 hectáreas de plantaciones energéticas de eucalyptus camaldulensis establecidas por productores para la empresa Tabacalera Hondureña<sup>54, 55</sup>. La leña que se produce en el último proyecto se utiliza principalmente para curar tabaco. Este sistema ya demostró que las plantaciones energéticas mantenidas por campesinos son factibles en Honduras. Hay datos disponibles sobre el crecimiento, pero existen dudas sobre la fiabilidad de los mismos.<sup>a</sup> Es interesante el uso de fertilizante en las plantaciones de los campesinos de Tabacalera Hondureña: una vez durante la plantación y otra a los tres meses. En CATIE Honduras también se recomienda una fertilización (p.e. de N-P-K de 12-18-17, porque está disponible) de dos turnos de 65 kg por turno por hectárea durante el primer año. En Honduras existe un sistema de *Incentivos a la forestación, reforestación y protección del bosque*<sup>56</sup>. Los principales incentivos para las plantaciones destinadas a leña y de uso múltiple son:

- Elaboración gratuita del proyecto;
- Asistencia técnica gratuita;
- Usufructo total e indefinido de los productos forestales;
- Reembolso del coste total de las plantas;
- Utilidades no gravadas con el impuesto sobre la renta.

El tercer incentivo fue un problema en el pasado, cuando el gobierno no permitía a un campesino cosechar su propia plantación.

#### **A.1.2. Estimación del coste de plantaciones de eucalipto en Honduras**

Se calcula el coste de las plantaciones de eucalipto en Honduras con algunos datos clave de los ingenios en Honduras (Cuadro 17), pero en gran parte basándose en el cálculo de los costes de Nicaragua.

El resultado de este cálculo es que los costes para eucalipto producido por ingenios en Honduras son más que dos veces superiores a los de eucalipto producido por ingenios en Nicaragua, 49 \$/ton<sub>0%</sub> o 2.8 \$/GJ<sub>PCI</sub> (29 \$/m<sup>3</sup>, 27 \$/ton<sub>45%</sub>, 39 \$/ton<sub>25%</sub>). La causa principal de esta diferencia es el precio del terreno, que es tres veces más alto, aumentando el coste del eucalipto en un 70%. En el cálculo para Honduras, el coste del terreno constituye un 50% del precio de la madera producida.

Pero, si comparamos el coste de eucalipto con el coste del Bunker C (3.3 \$/GJ<sub>PCI</sub>, el coste del bunker es aún superior al del eucalipto en un 20%.<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Se dice que hay un crecimiento de 47 ton<sub>0%</sub>/ha.yr, lo que parece muy alto. Se estima que el coste para producir una tonelada de eucalipto en Honduras es de 12.4 \$/ton, pero no está claro si esta cifra se refiere a una tonelada seca o húmeda. Además, en este cálculo se usa únicamente la primera cosecha, sin tasa de interés.

<sup>b</sup>El coste de Bunker C que se da en el Plan Maestro es de 3.12 \$/GJ<sub>PCS</sub>.<sup>57</sup> La relación entre el poder calorífico superior y el poder calorífico inferior de Bunker C es de 1.065.<sup>58</sup> El resultado es que el coste es de 3.3 \$/GJ<sub>PCI</sub>.



## APPENDIX 2. SITUACIÓN Y POTENCIAL DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR INGENIOS AZUCAREROS EN CUBA

### *La industria eléctrica*

La capacidad instalada de la red nacional de Cuba es de alrededor de 3,000 MW<sub>e</sub>. Un 95% del pueblo tiene acceso a la electricidad, siendo una cifra muy alta para América Latina. Desde el año 1990 (durante el colapso de la Unión Soviética), del precio de petróleo subió hasta alcanzar el nivel del mercado mundial. Esto supone un gran problema para Cuba en este momento, en relación con el pago de sus importaciones de petróleo para la generación de electricidad y otros usos.<sup>59</sup>

En 1992, el 43% de los combustibles derivados del petróleo que consumió Cuba se destinó a la generación de electricidad. Un 83% de la electricidad se genera a partir de petróleo. Un 12% proviene de la industria azucarera, pero esta industria todavía es un consumidor neto de electricidad, con un consumo de 544 GWh en 1995.<sup>60, 61</sup>

La política energética quiere disminuir este desequilibrio en una primera etapa a unos 200 GWh mediante el aumento de la eficiencia de las instalaciones existentes y el ahorro del consumo de electricidad. En una segunda etapa, la industria azucarera tiene que suministrar 300 GWh a la red nacional mediante la instalación de 8 unidades de la industria eléctrica no utilizadas en este momento y mediante la generación durante todo el año con turbinas de condensación-extracción.

### *La industria azucarera*

Hay 156 ingenios azucareros en Cuba de muy distinto tamaño. Durante la zafra de 1989/1990 la producción de azúcar fue de 8 Mton (superior en factor 34 a la producción de Honduras<sup>46</sup> y en factor 26 a la de Nicaragua<sup>62</sup> durante la zafra 1995/1996), con una producción de bagazo de entre 20 y 21 Mton. Debido a la falta de recursos, no hay en este momento suficiente cantidad de riego, fertilizante, herbicidas y combustible. Por eso la producción de la última zafra fue de unas 4.5 Mton de azúcar. En la actualidad los ingenios azucareros no están exportando electricidad a la red nacional, sino que son consumidores netos. Un problema es que casi no hay turbinas de condensación en los ingenios. En este momento los ingenios “no se preocupan de la generación de electricidad sino principalmente de la producción de azúcar”<sup>59</sup>. El objetivo apunta al aumento de la utilización de la capacidad de molienda.

En Cuba hay un potencial muy grande para la cogeneración de electricidad a partir de bagazo y también a partir de paja y cohoyo. Actualmente la mayor parte de la cosecha de caña está mecanizada y el 50% de la paja se queda en el campo. El otro 50% se separa de la caña limpia en los centros de acopio y limpieza y la mayoría se quema allá sin uso económico.

El potencial total de los residuos agrícolas cañeros (el “RAC”) para todo el país es de 35.2 Mton. De esta cifra ya se dedujo una cantidad de 14.5 Mton de residuos que sirven de cobertura de campo. Estas 35.2 Mton suponen una cantidad de energía primaria casi 2 veces superior al consumo total de petróleo para la generación de electricidad en Cuba en el año 1989.<sup>63</sup> Por tanto, si se pueden encontrar distintas maneras de almacenar los residuos agrícolas durante la no-zafra, toda la electricidad de Cuba puede generarse a partir de bagazo y los otros residuos de la caña.

### *El sector forestal en relación con las plantaciones energéticas*

Hasta el año 1990, el uso de leña en Cuba estaba limitado a bosques naturales sin problemas ecológicas importantes, porque el consumo total fue de entre 1.0 y 1.8 Mm<sup>3</sup> por año durante 30 años. Después de 1990 hubo un incremento significativo en el consumo de leña hasta 2.8 Mm<sup>3</sup>, debido a la escasez de petróleo en el país. El Ministerio de Azúcar es el consumidor de gran parte de la leña destinada a las cocinas públicas y al arranque de los ingenios. El consumo del sector doméstico ha crecido bastante durante los últimos 6 años.

Para evitar una deforestación grande, se inició en 1990 un programa de bosques energéticos. En 6 años se plantaron alrededor de 100,000 hectáreas de plantaciones energéticas, de las que un 30%

murió por diferentes causas (incendios, sequía, plagas, etc.).<sup>a</sup>

Es interesante el uso de fertilizante en la plantación de los árboles en Cuba. Para el eucalipto se usa (en formula N-P-K de 8-10-10) entre 20 y 40 gramos por planta. Con entre 2000 y 2500 plantas por hectárea, la fertilización que se usa es 40 y 100 kg/ha en el primer año.<sup>64</sup>

En el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente no había estudios sobre la posibilidad de usar plantaciones energéticas de madera como combustible durante la no-zafra, porque está claro que será bastante difícil usar todo el potencial de los residuos agrícolas cañeros para la generación de electricidad. Sí están investigando la posibilidad de usar caña energética, un especie de caña con un mayor contenido de fibra, para la producción combinada de alcohol y electricidad. Una desventaja de caña energética podría ser que no se puede plantar en suelos marginales sin otro uso, cosa que no ocurre en el caso de bosques energéticos.

El Ministerio de Azúcar tiene menos confianza en la posibilidad de limitarse solamente a los residuos agrícolas cañeros como combustible durante todo el año. Por eso, sí están muy interesados en esta combinación del uso del bagazo, pajas y leña de plantaciones energéticas como combustibles para la generación de electricidad durante todo el año.<sup>65</sup>

---

<sup>a</sup>Se plantaron principalmente las especies siguientes: (1) eucalipto, (2) leucaena, (3) soplillo, (4) Albizzia prolera, (5) gmelina arborea y (6) casuarina.

Cuadro 1. Parámetros básicos de las iniciativas existentes de la cogeneración en los ingenios San Antonio y Victoria de Julio<sup>a</sup>.

	San Antonio <sup>15, 16, 12</sup>			Victoria de Julio <sup>66, 11, 67</sup>	
	'96/'97	'97/'98	'00 - '10	'96/'97	>'98
Flujo de caña [kt/día]	10	11	13	5	7
Crecimiento caña promedio [ $t_{hum}/ha.año$ ]	n.d.	n.d.	n.d.	70	n.d.
Plantaciones de eucal. establecidas [ha]	1796 <sup>b</sup>	2496 <sup>b</sup>	> 3500 <sup>b</sup>	3675	7354
Parte del suelo plantado propiedad del ingenio [%]	72	n.d.	39	74	n.d.
Capacidad electr. instalada bruta [ $MW_e$ ]	9	15-27	15 - >50	12	36
Excedente durante zafra [ $MW_e$ ]	0	10	> 10	4 <sup>c</sup>	16
Excedente durante no-zafra [ $MW_e$ ]	0	0	> 12	0	31
Efic. estimada caldera, LHV, bruta [%]	77	84	84	n.d.	75
Eficiencia eléctrica, LHV, bruta [%]	-	-	22	-	20

<sup>a</sup> "n.a.": datos no disponibles en este momento; "-": no aplicable.

<sup>b</sup> El proyecto agroforestal Los Maribios (cerca del ingenio San Antonio) tenía 2,620 hectáreas de plantaciones forestales de pequeña escala in 1996.

<sup>c</sup> Esta electricidad no fue vendida, sino intercambiada por el uso de electricidad del sistema de riego durante la no-zafra.

Cuadro 2. Principales parámetros técnicos de las plantaciones de eucalyptus camaldulensis en los ingenios San Antonio y Victoria de Julio.<sup>11, 12, 66</sup>

	San Antonio	Victoria de Julio
Precipitación anual promedio [mm]	1352	1114
Rotación de la cosecha [año]	6	4-5
Vida útil de la plantación [año]	24	± 20
Densidad de la plantación [plantas/ha]	2200	
Coste por planta [¢/planta]	16	33
Mejoramiento genético	solamente selección de semillas del banco de semillas local	
Subsoleo	se aplica	
Fertilización	no se aplica	
Riego	no se aplica	
Control de las malezas	manual, mecánico y con herbicidas	manual
Pesticidas utilizados	durante establecimiento contra zompopos (hormigas)	
Método de cosecha	motosierra	
Uso de hojas y ramas pequeñas	se quedan en el campo	
Distancia máx. desde el ingenio [km]	55	15
Secado al aire del eucalipto	en 1 mes con una humedad del 45 al 25 - 18%	
Astillado del eucalipto	centralizado en la planta eléctrica	