



Evaluación de potenciales de energía renovable en Paraguay, estudio de cuatro casos

Publicación elaborada en el marco de un proyecto del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) a través del Viceministerio de Minas y Energías, con el apoyo de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ)

FICHA TÉCNICA

Publicado por

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)
Viceministerio de Minas y Energías (VMME)
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
En el marco del proyecto “Mejoramiento de la base de datos para una política energética sustentable”

Coordinación Editorial

Renate Schneider, Cooperación Alemana al Desarrollo

Apoyo y Revisión del Material

Javier Saldaña, Viceministerio de Minas y Energía
Rafael Gonzalez, Viceministerio de Minas y Energía
Gustavo Casal, Viceministerio de Minas y Energía
Laura Gomez, Viceministerio de Minas y Energía
Wesley Löwen, Cámara de comercio e industria Paraguayo-Alemana
Patricia Pastore, Cooperación Alemana al Desarrollo
Juan Balsevich, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción

Autores

Mario Rios, TUHH - Universidad Técnica de Hamburgo-Harburg
Martin Kaltschmitt, TUHH - Universidad Técnica de Hamburgo-Harburg
Paul Borsy, UNIQUE
Rafael Ortiz, UNIQUE
Alcides Duarte, UNIQUE

Con contribuciones de Gustavo Casal, Viceministerio de Minas y Energía

Colaboración

Cámara de Comercio e Industria Paraguayo-Alemana

Cuidado de edición

Rosa Palazón

Diseño

Creative Park

Impresión

Alamo S.A.

Paraguay
Noviembre 2013

Nota Aclaratoria: Las ideas y opiniones expresadas por los especialistas no reflejan necesariamente la posición oficial de la GIZ.



Evaluación de potenciales de energía renovable en Paraguay, estudio de cuatro casos

Publicación elaborada en el marco de un proyecto del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) a través del Viceministerio de Minas y Energías, con el apoyo de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ)



VICEMINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA



PRESENTACIÓN

Esta publicación es parte del proyecto a corto plazo definido entre el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), a través del Vice-Ministerio de Minas y Energía (VMME) y la Cooperación Alemana al desarrollo (GIZ) para mejorar la base de datos en el área de la energía, en el aspecto prioritario de la biomasa, así como otras energías renovables no convencionales.

Dicho proyecto nace en respuesta a la necesidad del desarrollo de una política energética, que tome en consideración aspectos de sustentabilidad y una adecuada combinación de energías y sus potenciales. El tiempo de ejecución del proyecto fue de marzo 2012 a marzo 2013, con varias misiones de los expertos de Alemania y un equipo de expertos de Paraguay.

El objetivo del estudio es “El Viceministerio y otros actores del sector cuentan con estudios sobre el tema de la producción y el consumo de biomasa, incluidas propuestas relacionadas con necesidades de manejo, realizados siguiendo los delineamientos de estándares internacionales (estudios basados en recolección primaria de datos)”.

La GIZ contrató los servicios de la consultora *UNIQUE forestry and land use*, de Alemania, en consorcio con la TUHH - Universidad Técnica de Hamburgo-Harburg, para el desarrollo de las actividades en el marco del proyecto.

La publicación que presentamos es resultado de los trabajos del consorcio y sugiere una metodología para evaluar proyectos de energía renovables presentando cuatro casos concretos en los cuales se aplicó esta metodología. Los cuatro casos de energía renovable implican la energía solar, energía de biomasa sólida y biogás a nivel industrial y a nivel de pequeños productores.

En el marco del proyecto se tienen además, los siguientes aportes:

- publicación sobre biomasa sólida nivel de país,
- publicación de estudios, presentaciones y publicaciones en relación a energía renovable en Paraguay en la página web del VMME, capacitaciones, visitas técnicas y seminarios nacionales e internacionales,
- elaboración de un formato para la evaluación de proyectos de energía renovable,
- análisis de seis proyectos de energía renovable, y
- apoyo para la firma de un memorándum de entendimiento entre la Universidad Nacional Asunción y la Universidad de Hamburg-Harburg, para el intercambio de estudiantes, investigadores y profesores; memorándum en vigencia en la actualidad.

Se espera que los resultados y productos obtenidos de este proyecto contribuyan a mostrar alternativas de uso racional de energía renovable en Paraguay.

Barbara Krause
Directora Residente
Cooperación Alemana al Desarrollo

Ramón Jiménez Gaona Arellano
Ministro
Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones



CONTENIDO

Presentación.....	5
1 INTRODUCCIÓN	10
1.1 Balance de energía.....	10
2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS Y SU FACTIBILIDAD.....	12
3 RESULTADOS DE LOS CASOS EVALUADOS	14
3.1 Energía Solar térmica para uso doméstico.....	14
3.1.1 Descripción de las condiciones generales.....	14
3.1.2 Descripción del Proyecto.....	16
3.1.3 Factibilidad técnica.....	16
3.1.4 Factibilidad económica	16
3.1.5 Impacto social.....	17
3.1.6 Potencial en Paraguay.....	18
3.1.7 Recomendaciones.....	19
3.2 Biogás a partir de residuos de un Frigorífico.....	20
3.2.1 Descripción de las condiciones generales.....	20
3.2.2 Descripción del Proyecto.....	20
3.2.3 Factibilidad técnica	20
3.2.4 Factibilidad económica.....	25
3.2.5 Impacto ambiental.....	25
3.2.6 Impacto social.....	26
3.2.7 Potencial en Paraguay	26
3.2.8 Recomendaciones.....	27
3.3 Biogás a nivel pequeños productores.....	27
3.3.1 Descripción de las condiciones generales.....	27
3.3.2 Descripción del Proyecto	27
3.3.3 Factibilidad técnica.....	28
3.3.4 Factibilidad económica.....	30
3.3.5 Impacto ambiental	31
3.3.6 Impacto social.....	31
3.3.7 Potencial en Paraguay	31
3.3.8 Recomendaciones	32
3.4 Biomasa solida sostenible para una industria de cerámica.....	32
3.4.1 Descripción de las condiciones generales.....	32
3.4.2 Descripción del Proyecto.....	32
3.4.3 Factibilidad técnica.....	34

3.4.4 Factibilidad económica.....	36
3.4.5 Impacto ambiental.....	38
3.4.6 Impacto social.....	38
3.4.7 Potencial en Paraguay.....	38
3.4.8 Recomendaciones.....	39
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
5 PRÓXIMOS PASOS.....	41
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS.....	43
Anexo 1 Cálculos energéticos.....	43
Anexo 2 Escenario caso unitario.....	44
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1. Oferta bruta y consumo final de energía en Paraguay, 2012.....	11
Figura 2. Diagrama de guía para la evaluación de proyectos y su factibilidad.....	13
Figura 3. Funcionamiento de un calefón solar de agua doméstico por termosifón.....	15
Figura 4. Ahorros energéticos (electricidad) en el sector residencial de Paraguay con el uso de calefones solares.....	18
Figura 5. Esquema del tratamiento de las aguas residuales.....	21
Figura 6. Laguna cubierta para la captura del biogás.....	23
Figura 7. Esquema de producción de biogás y biofertilizantes.....	28
Figura 8. Propuesta esquemática del biodigestor.....	29
Figura 9. Biodigestor instalado en una de las 20 fincas familiares beneficiadas.....	29
ÍNDICE DE TABLAS	
Tabla 1. Aguas residuales por línea.....	22
Tabla 2. Uso de energía.....	22
Tabla 3. Rendimiento de biogás.....	23
Tabla 4. Potencial teórico energético.....	24
Tabla 5. Potencial energético.....	24
Tabla 6. Demanda térmica actual.....	25
Tabla 7. Cuadro comparativo de costo energético en un año.....	30
Tabla 8. Características de distintos dendroenergéticos.....	35
Tabla 9. Conversión del valor energético de aserrín en madera sólida.....	35
Tabla 10. Costos por posición para una reforestación.....	36
Tabla 11. Comparación entre costos de aserrín comprado y costos de chips producido en una plantación propia.....	37
Tabla 12. Energía ducha individual (Qu).....	43
Tabla 13. Análisis simplificado para estimación del calefón solar.....	43
Tabla 14. Evaluación económica de un calefón solar de agua.....	44

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ANDE	Administración Nacional de Electricidad
BEN	Balance energético nacional
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CIEH	Carrera de Ingeniería en Ecología Humana
CSA	Calefones solares de agua
DGEEC	Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos
Dpto. / Dptos.	Departamento/Departamentos
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EBY	Entidad Binacional Yacretá
EPDM	Etileno PropilenoDieno Monómero
FAO	Food and Agriculture Organization
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agencia Alemana para la Cooperación Internacional)
GLP	Gas Licuado de Petróleo
Gs	Guaraníes
J	Joules
kW	Kilowatt
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana al Desarrollo)
INFONA	Instituto Forestal Nacional
INTN	Instituto Nacional de Tecnología y Normalización

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

IUE / TUHH	Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft / Technische Universität Hamburg-Harburg (Instituto de Tecnologías del Medio Ambiente y Economía de la Energía/ Universidad Tecnológica de Hamburgo-Harburg)
m ³ R	Metro cúbico real
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MIC	Ministerio de Industria y Comercio
MOPC	Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones
OER	Observatorio de Energías Renovables
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
ONG	Organización No Gubernamental
PVC	Cloruro de Polivinilo
REDIEX	Red de Inversiones y Exportaciones
SEAM	Secretaría del Ambiente
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
STP	Secretaría Técnica de Planificación
S.R.L	Sociedad de Responsabilidad Limitada
TEP	Toneladas equivalentes de petróleo
TMCA	Tasa Media de Crecimiento Anual
UNA	Universidad Nacional de Asunción
t	Tonelada
USD	Dólares Americanos
VMME	Viceministerio de Minas y Energías del Paraguay

1

INTRODUCCIÓN

El balance energético del Paraguay es atípico, ya que el consumo de energía en el país se basa primariamente en fuentes renovables y nacionales de energía. En el balance energético del lado de la oferta debe destacarse el elevado índice de energía hidráulica, en el orden del 57%. Gran parte de esta producción de energía es exportada a los países vecinos.

Del lado del uso, el consumo final en el país consiste en un 46% de biomasa, 38% de combustibles fósiles - en primer lugar petróleo - mientras que la electricidad (generada casi en forma exclusiva por fuerza hidráulica), asciende apenas al 16%. El elevado índice de biomasa en el consumo final ocasiona grandes problemas medioambientales en forma de deforestación y degradación de suelos, debido a que la biomasa proviene casi exclusivamente de madera obtenida de cultivos no sustentables (desforestación). Además, el uso de los recursos renovables, como son la energía solar y el uso de los residuos para la producción de energía, es muy escaso por lo que no se considera dentro del balance actual de energía.

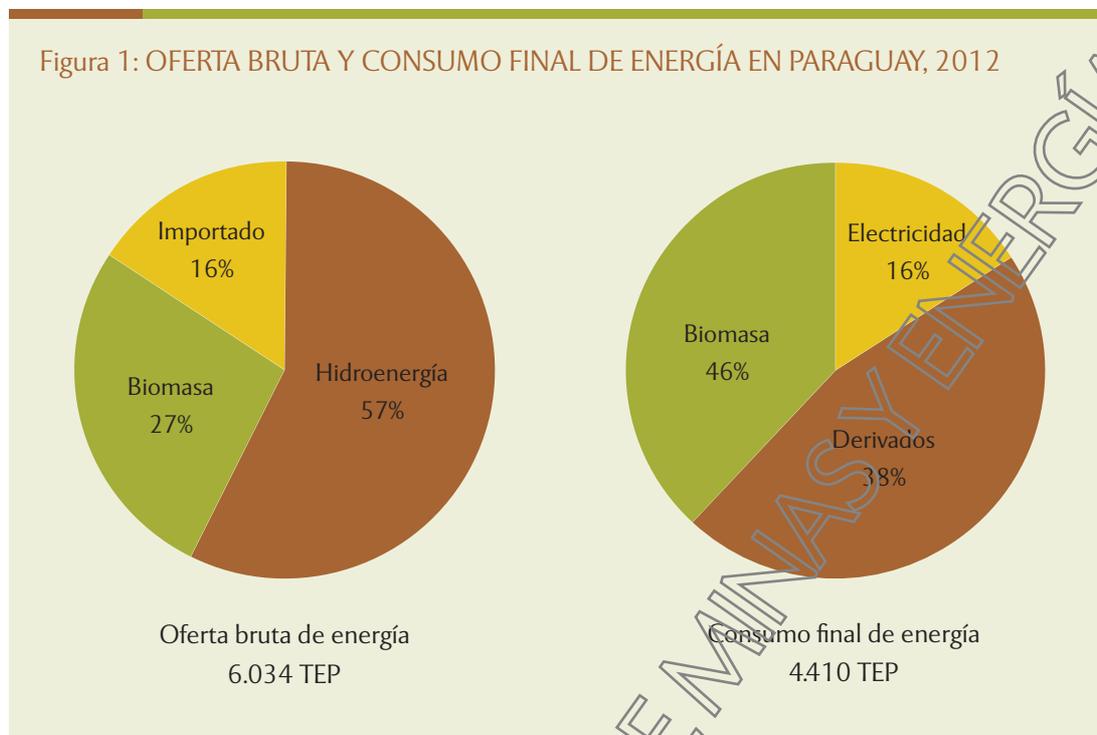
El proyecto definido por el VMME y la GIZ tiene por fin brindar soporte al Vice-Ministerio de Minas y Energía, responsable del desarrollo de la política energética, así como a otros actores del sector energético, para mejorar la base de datos en el área de la energía renovable.

La publicación que se presenta se enfoca una metodología para evaluar proyectos de energía renovable. Dicha metodología fue presentada, discutida, aplicada y aprobada por el VMME en varios talleres. Fue aplicada en seis casos concretos: Dos casos con energía solar, tres casos en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y un caso con energía de la biomasa sólida. En esta publicación se presentan los cuatro casos más representativos, con gran potencial de aprovechamiento en Paraguay.

1.1 BALANCE DE ENERGÍA

La matriz energética del Paraguay se caracteriza por una elevada oferta de energía primaria de origen renovable y local, específicamente la hidroenergía y la biomasa. De acuerdo con el balance energético del 2012, el 57% de dicha oferta correspondió a hidroelectricidad y el 27% a biomasa (leña, carbón vegetal y residuos vegetales). El 16% restante fueron hidrocarburos (VMME 2012). Sin embargo, analizando el consumo final, la biomasa ocupa el 46% de la energía consumida en el país, el 16% la electricidad y el 38% los hidrocarburos (Figura 1). Por otra parte, el consumo total nacional ha tenido una tasa de incremento medio anual (TMCA) en los últimos 10 años de aproximadamente 1,8%, al pasar de 3.803 TEP (2002) a 4.410 TEP (2012) (SIEN 2013).

Figura 1: OFERTA BRUTA Y CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN PARAGUAY, 2012



Fuente: VMME 2013: Balance Energético Nacional 2012, publicación Junio 2013

VICEMINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

2

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS Y SU FACTIBILIDAD

En el marco de este proyecto se ha definido una línea de acción sobre la **“evaluación de proyectos de energía renovable”**. Según los términos de referencia “se trata de la introducción y aplicación de buenas prácticas internacionales en cuanto al análisis de la viabilidad técnica y económica de proyectos, y por la otra, de la evaluación (estudios de factibilidad) de cuando menos tres proyectos en fase de planeamiento; de los cuales uno debería ser del área del biogás y otro del área de energía solar”.

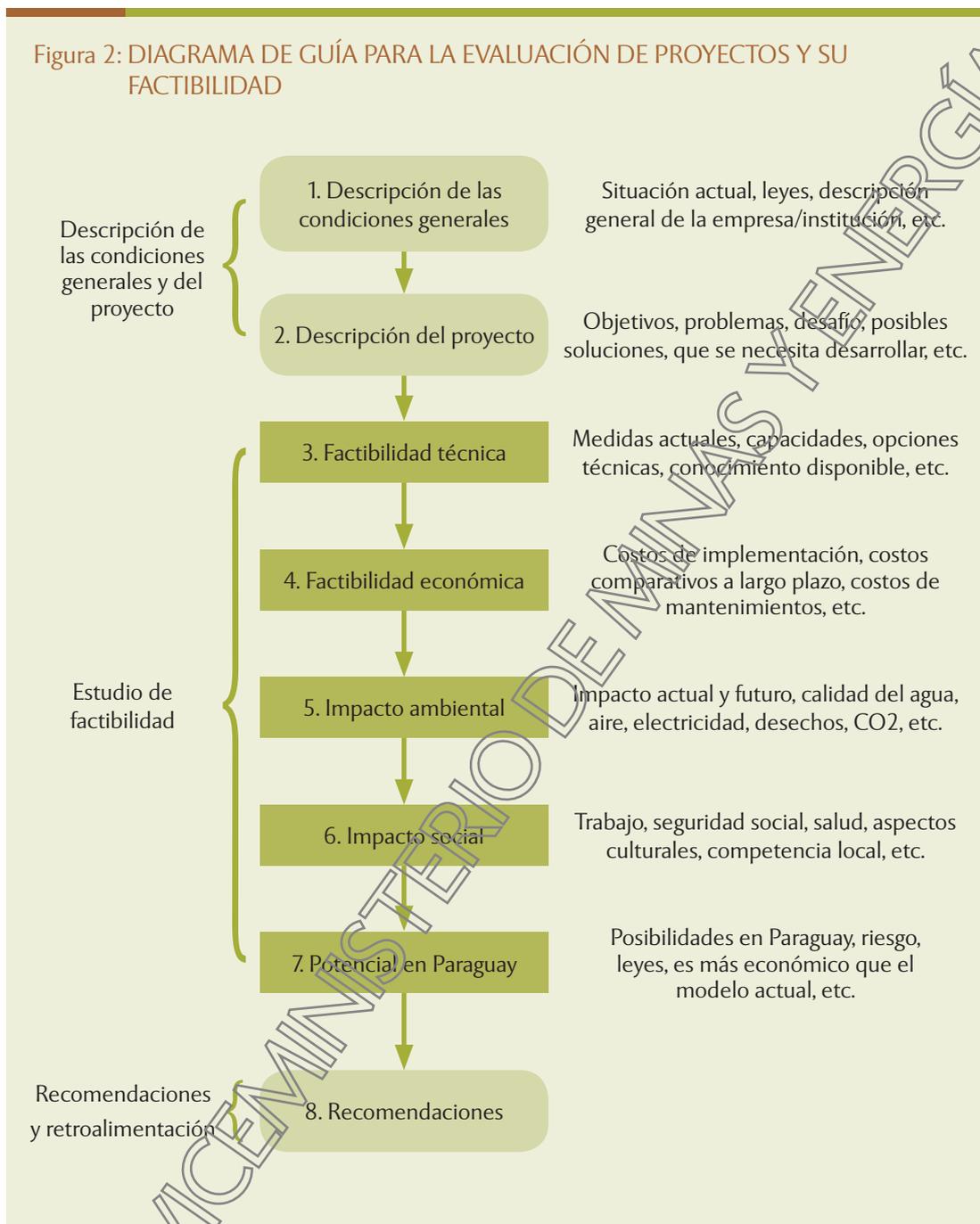
La primera tarea del equipo de expertos nacionales e internacionales fue la identificación de posibles proyectos a ser evaluados o proyectos futuros. Esta tarea no fue fácil porque son muy pocos los proyectos de biogás o energía solar que existen en el país. A través de conocimientos locales, de los gremios y con la cooperación de la cámara de comercio Alemana-Paraguaya se logró identificar algunas iniciativas factibles para el desarrollo de los proyectos.

Junto con el VMME se decidió sobre los proyectos a ser evaluados y se definió una metodología de evaluación apta para el sector de energías renovables en Paraguay.

La evaluación de proyectos y su factibilidad es una herramienta práctica para gestionar de manera efectiva un proyecto. Una evaluación es el acto de emitir un juicio de valor apoyado por la información recopilada. Dicha información debe incluir cuáles son las necesidades, objetivos y cómo afectaría la implementación de un proyecto o los factores que afectan la gestión de un proyecto. Por otra parte la factibilidad busca determinar si es posible física, material y económicamente “hacer” un proyecto y cuáles serían sus principales impactos ambientales y sociales, así como su potencial.

La Figura 2 indica la metodología sugerida para la evaluación de los proyecto en este estudio.

Figura 2: DIAGRAMA DE GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS Y SU FACTIBILIDAD



Fuente: elaboración propia

3

RESULTADOS DE LOS CASOS EVALUADOS

El presente estudio evaluó seis opciones para el uso eficiente y sustentable de los recursos renovables en Paraguay. Dentro del potencial se analizaron diferentes casos, en esta publicación se presentan cuatro casos de estudios para la implementación de tecnologías del aprovechamiento de los recursos renovables, estos incluyen:

1. Energía solar térmica para el sector residencial
2. Biogás a partir de residuos de un frigorífico
3. Biogás a nivel pequeños productores
4. Biomasa sólida sostenible para una industria cerámica

Otros dos casos evaluados que no se presentan en este documento son:

1. Viabilidad de un proyecto de energía solar para una población indígena en el Chaco
2. Biogás para empresa grande de carnicería (frigorífico)

3.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA USO DOMÉSTICO

Paraguay, con una radiación solar promedio de 1.725 kWh/m²/a (GIZ 2011), presenta un nicho considerable para el uso de la energía solar, particularmente en equipos de baja temperatura del sector residencial. En diversos países del mundo las tecnologías solares, como los sistemas fotovoltaicos (SFV) y los calefones solares de agua (CSA) (ambas aplicaciones residenciales), han crecido a un ritmo asombroso (IEA-SHC 2011).

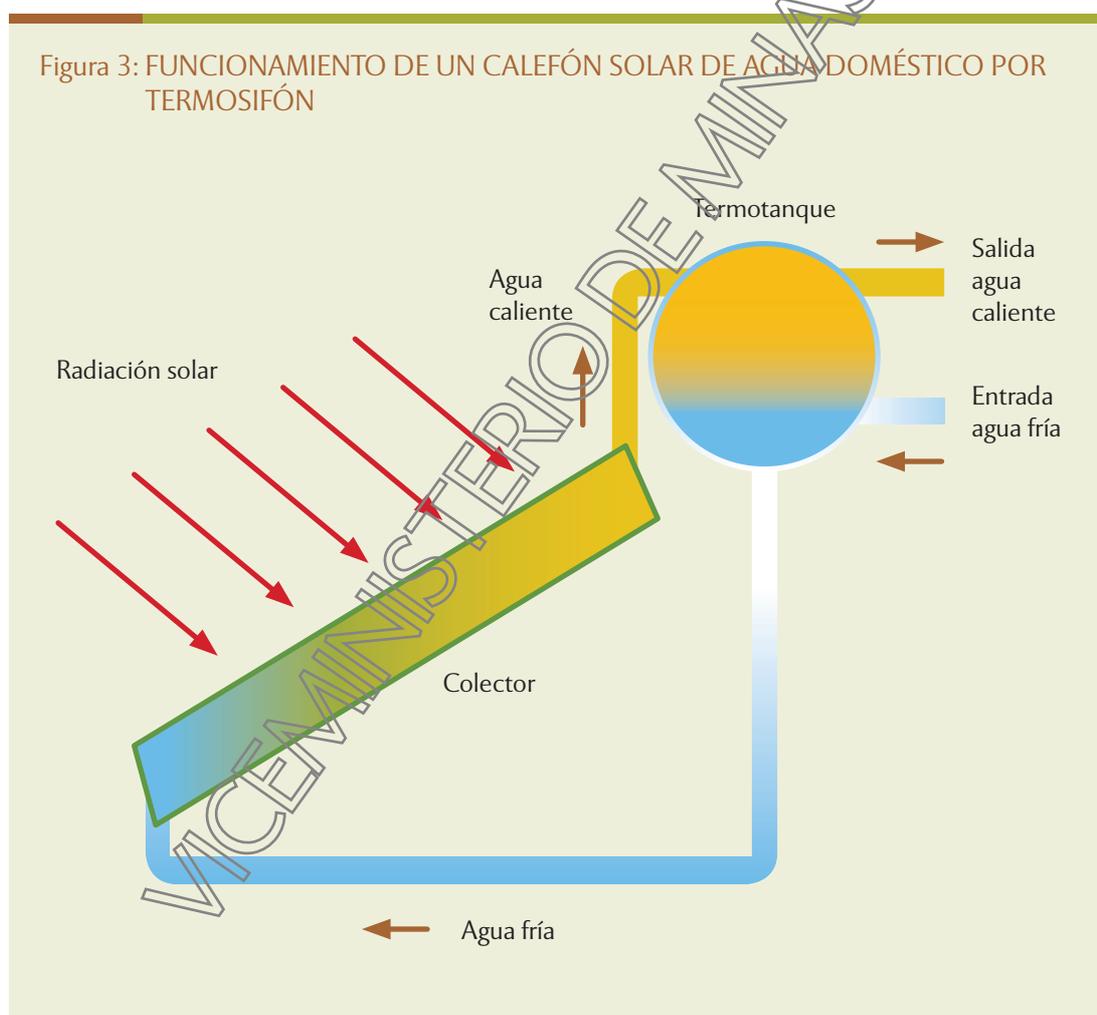
3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES GENERALES

El uso de calefones solares para el calentamiento de agua a bajas temperaturas ha demostrado ser una tecnología madura, confiable y de gran penetración en muchos países con buena radiación solar. El último reporte de IEA-SHC (2011) menciona que la capacidad instalada en calefones solares para calentamiento de agua a bajas temperaturas en el mundo se multiplicó seis veces en los últimos 10 años.

Un calefón solar es un aparato que utiliza el calor del sol para calentar alguna sustancia, como puede ser agua, aceite, o incluso aire. Su uso más común es para calentar agua para uso en piscinas o servicios sanitarios (duchas, lavado de ropa o trastes), tanto en ambientes domésticos como comerciales. Un calefón solar está formado por aletas captadoras y tubos por donde circula el agua, los cuales capturan el calor proveniente de los rayos del sol y lo transfieren al agua que circula en su interior. Se les clasifica en la categoría de baja temperatura, debido a que funcionan con temperaturas menores a los 100°C. El agua caliente circula de los tubos o el calefón hacia el tanque mediante el efecto denominado termosifónico, que provoca la diferencia de temperaturas. Siendo el agua caliente más ligera que la fría, tiende a subir (Figura 3). Esto es lo que sucede entre el calefón solar plano y el termo-tanque, con

lo cual se establece una circulación natural, sin necesidad de ningún equipo de bombeo. El termo-tanque, está forrado con un aislante para evitar que se pierda el calor obtenido, esto proporciona una menor pérdida de energía térmica y mantiene el agua caliente un mayor tiempo. El calefón solar plano se instala normalmente en el techo de una vivienda, orientado de tal manera que quede expuesto a la radiación del sol el mayor tiempo posible. Para lograr la mayor captación de la radiación solar, el calefón solar plano se coloca con cierta inclinación, la cual depende de la latitud del lugar donde sea instalado.

Los calefones solares pueden ser divididos en dos tecnologías diferentes: calefones solares planos y tubos evacuados. Estos últimos poseen una mayor eficiencia, pero sus costos son más altos. Los calefones solares planos en cambio, presentan mayor confiabilidad, debido a su carcasa sólida.



Fuente: elaboración propia

3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En la mayoría de las viviendas de Paraguay es notable el uso de la regadera eléctrica para ducha. El uso de estas regaderas eléctricas aunque, es eficiente comparado con un termo-calefón a gas, presenta un alto consumo eléctrico, llegando a representar en algunos casos hasta el 50% del consumo eléctrico de una vivienda.

3.1.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Se estima que en una vivienda promedio en Paraguay habitan cuatro personas¹. Esta vivienda utiliza una regadera eléctrica² con una potencia nominal de 5,4 kW. Se asume que por cada ducha se utiliza un promedio 10 minutos. Por lo que se obtiene que en una vivienda el consumo eléctrico, por parte de una regadera eléctrica, es aproximadamente 1.340 kWh/a.

Indicar qué tipo de calefón solar es el más conveniente por vivienda, depende de muchos factores complejos como son: ambientales (régimen de lluvias, viento, radiación solar por estación, etc.), horario y consumo del agua caliente, la arquitectura de la vivienda y los alrededores, etc. Por razones prácticas en este estudio empleamos un cálculo simplificado. Partimos de las necesidades de una vivienda promedio considerando que una ducha individual utiliza 55 litros de agua³ con un incremento en temperatura de 25°C⁴. Considerando el calor específico del agua (4.187 kJ/kg °C) y su densidad (1 kg /litro) utilizamos la ecuación 1:

$$Qu = (\text{litros/día}) (\text{densidad del agua}) (\text{calor específico}) (\text{incremento en la temperatura}) \quad (1)$$

Donde **Qu** es la cantidad de energía calorífica requerida para una ducha.

Tomando los valores previos podemos calcular que para una ducha individual se necesita aproximadamente 5.757 kJ. Nuevamente hay que considerar que en la vivienda habitan cuatro personas y consideramos 365 días al año. Obtenemos un consumo energético de 8,4 GJ/año.

Ahora, sabemos que la radiación promedio anual por metro cuadrado en Paraguay es de 6.210 MJ (1.725 kWh) y considerando una eficiencia de un calefón solar plano del 50%, podemos calcular que se necesitan alrededor de 2,71 m², pero para fines prácticos redondeamos a 3m². Este calefón solar se encuentra en el mercado con tanques de 240 litros y podría cubrir adecuadamente la demanda de agua diaria para ducha (Anexo 1).

3.1.4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El precio promedio de un calefón solar se estima en alrededor de 4.000.000 Guaraníes (\$909 USD). Se asume un costo de instalación del 20% del valor inicial y un costo de operación y mantenimiento de \$5 USD anuales⁵.

¹ En Paraguay en el 2010 se reportaron 1.560.225 viviendas ocupadas y se reporta una población de 6.381.940 de habitantes. Resultando en 4.05 habitantes por vivienda. Fuente: EPH 2010.

² Una regadera eléctrica consiste en un dispositivo electrónico cubierto de una estructura plástica, en su interior contiene una resistencia en serpentín por donde se hace circular agua.

³ Ducha individual de 10 minutos a un flujo de agua de 5,5 litros/minuto.

⁴ Se considera que el agua a temperatura ambiente a 20°C y se busca llegar a 45°C.

⁵ Se considera que es necesario la limpieza de los calefones y un posible cambio de empaques, datos reportados por proveedores locales de calefones solares en Paraguay Sep. 2012.



Energía solar térmica - Cerrito, Chaco Paraguayo

El costo de una regadera eléctrica se estima en 66.000 Guaraníes (\$15 USD) y se asume sin costo de instalación y mantenimiento debido a su sencillo uso.

Para el precio de la electricidad se tomaron los valores reportados en la ANDE⁶ y se estima un crecimiento en los precios de la electricidad en 5% anual⁷. Se asume una tasa de descuento del 10% y el uso de dólares constantes al 2012 con un factor de conversión de 4.400 guaraníes por dólar.

Para el análisis de caso unitario, se parte de una vivienda que adquiere un calefón solar y se compara contra los costos que implicaría utilizar una ducha eléctrica convencional en un periodo de 15 años. Se considera que el calefón solar de agua tiene una vida útil de 15 años, por lo que no se necesita un reemplazo, en cambio una ducha eléctrica, posee una vida útil máxima de 10 años, por lo que se necesita un reemplazo en dicho periodo.

Obtenemos que para un caso unitario el periodo de recuperación es de aproximadamente 6,5 años con un valor presente neto de \$156,8 USD y una tasa interna de retorno (TIR) del 12,6% (Anexo 2).

3.1.5 IMPACTO SOCIAL

Además de los ahorros económicos, el impacto se siente en el apoyo a la seguridad energética, al diversificar las fuentes de energía y el beneficio al medio ambiente. El alto potencial del uso de calefones solares en Paraguay desarrollaría, con los instrumentos e incentivos adecuados, una industria nacional solar. Aportando nuevos empleos en la fabricación, venta, instalación y mantenimiento de estos equipos.

⁶ Un costo medio de \$0,08/kwh, bajo precios reportados en la ANDE, Sep. 2012

⁷ Considerando el incremento en el ingreso per cápita de la población en Paraguay en los últimos años.

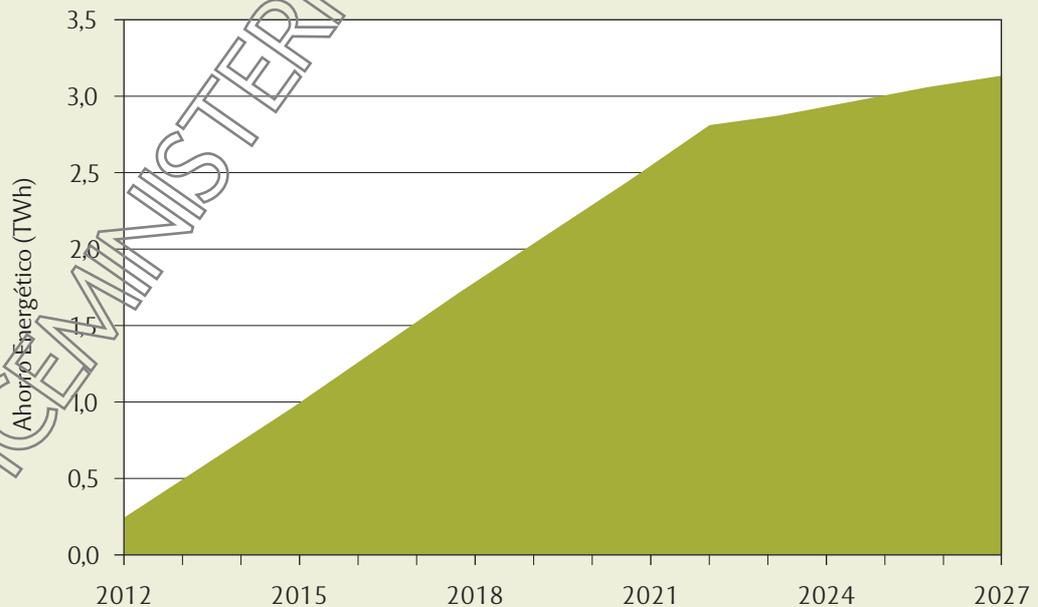
3.1.6 POTENCIAL EN PARAGUAY

Para calcular el potencial de calefones solares en el sector residencial de Paraguay, consideramos el último reporte de Población y Vivienda 2010, donde se menciona que existen 1.560.225 viviendas particulares ocupadas, de las cuales 133.424 cuentan con un termo-calefón. Asumiendo que el resto de las viviendas poseen, en su gran mayoría, una ducha eléctrica para el calentamiento de agua sanitaria. Se obtiene que el potencial de viviendas en Paraguay que podrían instalar un calefón solar ascendería a 1.402.062. Ya que no todas las viviendas podrían instalar un calefón solar en el primer año. Se asume una tasa de instalación del 10% anual (140.206 viviendas/anuales). Y se estima que el potencial total podría ser cubierto en el 2022 (en 10 años).

Además se consideran las viviendas nuevas, que agregaría al potencial 50.000 viviendas anuales, conforme datos reportados en los últimos reportes de población y vivienda en el Paraguay.

Por lo que se obtiene, que en los próximos 15 años, los ahorros energéticos acumulados o la energía eléctrica evitada con el uso de calefones solares ascendería a 3,14 TWh anuales (Figura 4). Un considerable ahorro tomando en cuenta que el 2011 el consumo eléctrico en el sector residencial fue de 4,60 TWh.

Figura 4: AHORROS ENERGÉTICOS (ELECTRICIDAD) EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE PARAGUAY CON EL USO DE CALEFONES SOLARES



Fuente: elaboración propia

El potencial del uso de calefones solares de baja temperatura en Paraguay es muy considerable. Además se podría incluir otros sectores con gran potencial como: el de servicios (hoteles, campos deportivos), servicio público (hospitales, escuelas, edificios gubernamentales, etc.), industria (procesos que involucren calentamiento de agua a baja temperatura).

Se estima que un gran potencial de la electricidad consumida en el país y la biomasa para la generación de energía térmica en la industria, podrían ser fácilmente sustituidos por la energía solar a baja temperatura.

Además, el evitar un consumo de energía eléctrica en el país, se evitaría costos de producción, operación, mantenimiento y transmisión de electricidad, así como pérdidas técnicas.

3.1.7 RECOMENDACIONES

Los calefones solares son una tecnología probada y madura, pero es importante conocer las necesidades de cada caso individual, tales como los usuarios por vivienda, necesidades de agua caliente (ducha por la mañana, tarde o noche) y si existen otros requerimientos, como uso de agua caliente en lavado, etc. Si el número de usuarios es igual o inferior que cuatro, un calefón solar plano es suficiente. De otra forma se aconsejaría usar otro tipo de calefón, como los colectores de tubos evacuados.

Debido al gran potencial y la experiencia en otros países, se recomienda ampliamente garantizar estos equipos con una norma nacional específica que indique el rendimiento térmico de los equipos y asegure que los materiales de los equipos sean los adecuados, (tipo de vidrio, carcasa de metal en acero inoxidable, etc.).

Además habría que normar las empresas que vendan estos equipos para que entreguen una garantía del dispositivo y manual de usuario (operación, mantenimiento e instalación), y generar una lista nacional de centros de atención a usuarios.

También se recomienda ampliamente la generación de carreras técnicas para el desarrollo de un recurso humano local capaz de efectuar una adecuada instalación y mantenimiento de los equipos. Ya que una mala instalación afectaría directamente el desempeño de estos equipos y la confianza de los usuarios finales.

3.2 BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE UN FRIGORÍFICO

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES GENERALES

La industria cárnica se encarga de producir, procesar y distribuir la carne de animales a los centros de consumo. En el proceso de producción de carne, surgen diversos residuos orgánicos como son sangre de los animales, grasa, pelo, etc. y los residuos de estiércol de los corrales. Estos residuos, según normas higiénicas internas y externas, deben ser procesados, lo que representa un costo a la empresa.

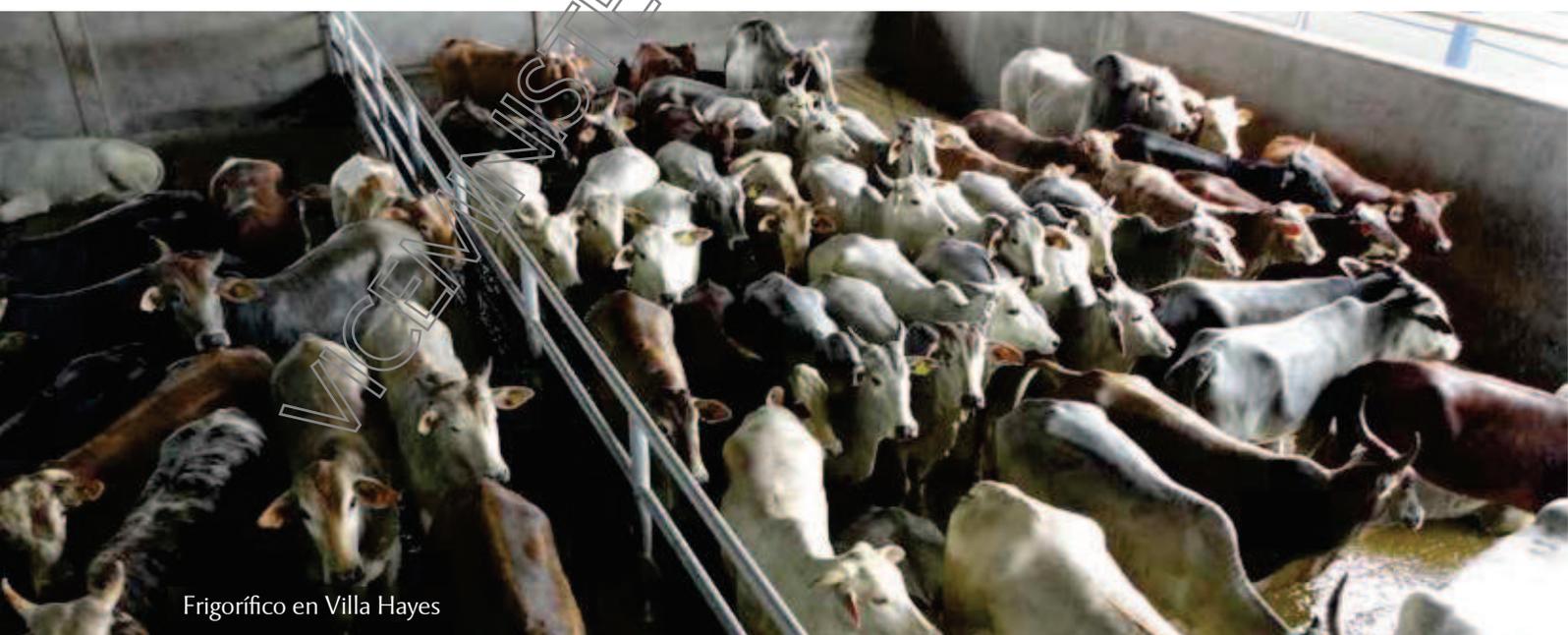
3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El aprovechamiento del biogás de los desechos orgánicos del faeno de ganado es uno de los beneficios que actualmente está teniendo un gran auge en muchas partes del mundo, ya que permite aprovechar los residuos de una ganadería intensiva.

Para este estudio se visitó una planta de faenado con una capacidad total de 1.300 animales (210 toneladas) por día. Actualmente el procesamiento promedio es de 750 animales por día. La planta funciona entre 8 a 10 horas diarias y 290 días al año.

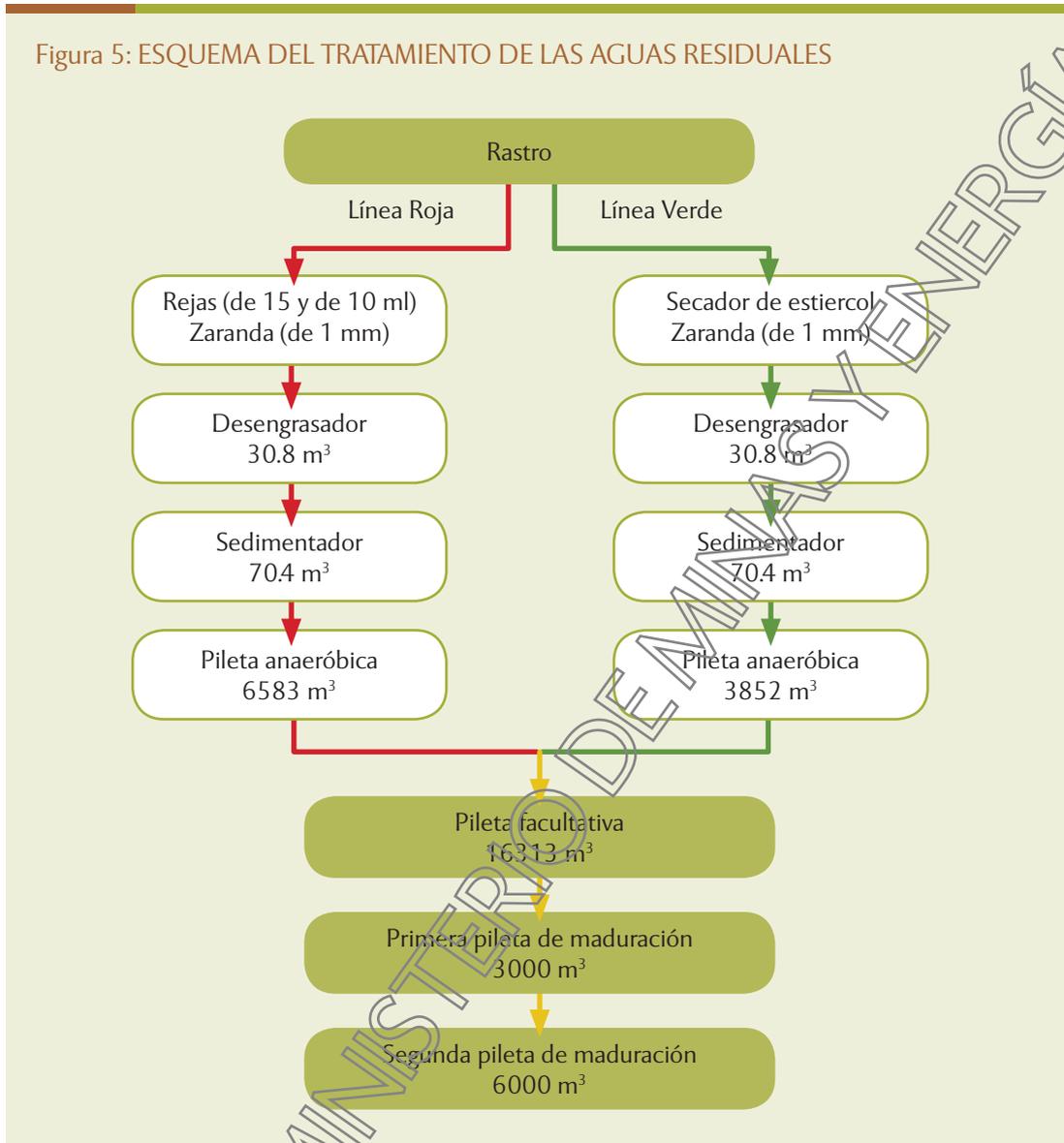
3.2.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Durante la operación de la empresa surgen desechos orgánicos que son canalizados por medio de agua. Esta agua residual es separada en dos diferentes líneas dependiendo de sus respectivas fuentes. La llamada línea roja contiene los residuos que se producen durante el faeno del animal como son: la sangre, grasa, restos de digestión, pelos etc. La línea verde canaliza los residuos de los corrales (estiércol), que surgen durante el tiempo de espera entre la llegada y la faena de los animales (Figura 5).



Frigorífico en Villa Hayes

Figura 5: ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES



Fuente: elaboración propia en base a datos reportados por la industria

Se considera que por cada 530 cabezas procesadas, se generan alrededor de 345.000 litros de aguas residuales diarios en la línea roja y 327.000 litros en la línea verde. Debido a que en esta empresa el proceso promedio diario es de 750 cabezas, la cantidad actual de las aguas residuales se calcula en base a los litros de agua que genera el procesamiento de una cabeza. La carga orgánica de las aguas residuales se mide con la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO). Estos valores nos indican la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos y biológicos respectivamente. La tabla 1 resume los parámetros actuales de las aguas residuales por línea por animales/diario.



Tratamiento de efluentes con potencial de producción de biogás

Tabla 1: AGUAS RESIDUALES POR LÍNEA

	Línea Roja	Línea Verde
Cantidad total de agua residual [litros cabeza/día]	651	618
Cantidad total de agua residual [litros/día]	487950	463160
Valor de pH	6,31	6,78
DQO [mg/l]	5.218	6.090
DBO [mg/l]	2.474	2.501
Sólidos Suspendidos por día [mg/l]	489	1.814
Sólidos totales por día [mg/l]	2.590	5.220
Grasas y aceite [mg/l]	185	184

Fuente: elaboración propia en base a datos reportados por la industria

Tabla 2: USO DE ENERGÍA

Uso de leña por cabeza [kg]	14
Uso diario de leña [kg]	10.500
Consumo diario de energía eléctrica [kWh]	30.000

Fuente: elaboración propia en base a datos reportados por la industria

El proceso de producción en la empresa evaluada ocupa dos tipos de energía. Energía térmica para limpieza e higiene y energía eléctrica para diversos procesos, como iluminación, operación de equipos eléctricos, refrigeración, etc. La energía térmica se genera en una caldera de vapor que utiliza leña. La energía eléctrica se adquiere por medio de la red eléctrica pública (Tabla 2).

Para capturar el biogás producido en las dos piletas anaeróbicas de las diferentes líneas, se propone cubrir las lagunas completamente (Figura 6). La cubierta debe de ser de material impermeable y elástico con protección de rayos ultravioleta. Los materiales más comunes para estas cubiertas son cloruro de polivinilo (PVC) o etileno propilenodieno monómero (EPDM). Además se propone un sistema de mezcladores dentro de las lagunas para el mejoramiento del proceso. Una vez estable, la producción de biogás es continua dependiendo principalmente de la temperatura del ambiente, la carga orgánica, las propiedades químicas (por ejemplo pH), presencia de inhibidores, cantidad y tiempo de retención de las aguas residuales. En la Tabla 3 se estima el rendimiento de biogás para las dos líneas en base de la cantidad y la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales.

Figura 6: LAGUNA CUBIERTA PARA LA CAPTURA DEL BIOGÁS



Fuente: Kaltschmitt 2012, Thailandia

Tabla 3: RENDIMIENTO DE BIOGÁS

	Línea Roja	Línea Verde
Cantidad total de agua residual [litros cabeza/día]	651	618
Cantidad total de agua residual [litros/día]	487950	463.160
DQO [mg/l]	5.218	6.090
DQO [kg/año]*	738.376	817.988
Rendimiento del biogás [m ³ / kg DQO]	0,3	0,3
Biogás [m ³ /año]	221.513	245.396
Rendimiento total de biogás [m ³ /año] (Ambas líneas)		466.909
Rendimiento total de biogás [m ³ /día] (Ambas líneas)		1.279

Fuente: elaboración propia en base a datos reportados por la industria

* 290 días

La producción de biogás (aprox. 60% de metano y 40% de dióxido de carbono) en ambas piletas alcanzaría un promedio de 1.279 m³/diario. En el frigorífico la caldera opera solo 10 horas al día, el biogás producido dentro del tiempo restante (14 hrs. aprox. 750 m³) debería ser almacenado para aumentar el rendimiento final del sistema. A pesar de que las lagunas cubiertas funcionarían como un almacenamiento, se propone un almacenamiento adicional juntando la producción de las dos líneas (roja y verde). El almacenamiento debería tener una capacidad volumétrica de aproximadamente 500 m³ y puede, aparte de asegurar la provisión continua de biogás, servir como unidad de control para la cantidad y la calidad del biogás producido.

Referente a las aguas residuales después del tratamiento anaeróbico las dos líneas siguen el tratamiento facultativo y de maduración como en el estado actual. Un análisis más detallado debería mostrar si un tratamiento posteriormente con sedimentadores sería necesario.

Finalmente se estima que el potencial teórico de la producción de biogás en las dos lagunas ascendería a 466.909 m³ anuales. Considerando un poder calorífico del biogás en 20 MJ/m³, podemos calcular que el potencial energético alcanzaría cerca de 9,3 TJ/anuales (Tabla 4).

Bajo estas circunstancias, se propone una co-combustión del biogás junto con la leña dentro de la caldera de vapor, que según el fabricante de la caldera podría realizarse. Con una eficiencia térmica del proceso de conversión de biogás de 80% tomando en cuenta el período de operación del frigorífico (10 hrs. por día, 290 días al año) el potencial térmico es calculado en la Tabla 5.

Como fue mencionado previamente, la demanda térmica del frigorífico es suministrada por la combustión de leña. Según datos reportados por el frigorífico, se necesita un promedio de 10,5 toneladas de leña por día. En la Tabla 6 se calcula la demanda térmica actual en base del uso de leña.

Con estos valores podemos asumir que el potencial térmico del biogás producido dentro de las lagunas cubiertas podría suministrar hasta un 21% de la demanda térmica total del frigorífico. Esto significaría un ahorro anual de 644,6 toneladas (1.611 TEP) o 2,2 toneladas (5,5 TEP) de leña por día.

Tabla 4: POTENCIAL TEÓRICO ENERGÉTICO

Valor Calorífico de Biogás [MJ/m ³]	20
Potencial energético [TJ/a]	9,3
Potencial térmico [GWh/a]	2,6
Capacidad térmica [kWt]*	296

Fuente: elaboración propia
* 8790 horas

Tabla 5: POTENCIAL ENERGÉTICO

Potencial térmico teórico [GWh/a]	2,6
Potencial térmico [GWh/a] (eficiencia de 80%)	2,1
Capacidad térmica [kWt]*	715

Fuente: elaboración propia en base a datos reportados por la industria

* 2900 horas (10 hrs. por día, 290 días por año)



Leña acopiada para horno industrial

Tabla 6: DEMANDA TÉRMICA ACTUAL	
Uso diario de leña [t]	10,5
Uso anual (290 días) de leña [t]	3.045
Valor calorífico de leña [MJ/t]	14.486
Potencial térmico teórico [TJ/a]	44,1
Potencial térmico teórico [GWh/a]	12,3
Demanda térmica actual [GWh/a] (eficiencia de 80%)	9,8

Fuente: elaboración propia en base a datos reportados por la industria

3.2.4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El análisis de la factibilidad económica incluye los costos de implementación/instalación, de mantenimiento, los costos comparativos etc. Como la mayoría de los parámetros económicos son desconocidos en este momento, una evaluación a detalle no se llevó a cabo en este estudio.

3.2.5 IMPACTO AMBIENTAL

El aprovechamiento energético de las aguas residuales con alta carga orgánica no es solamente una alternativa energética, sino también una alternativa ambiental.



Pileta aeróbica para tratamiento de aguas residuales - Villa Hayes

Con un tratamiento adecuado se disminuye las emisiones de gas metano a la atmósfera causantes del efecto invernadero. Además se reduce los patógenos, se eliminan los malos olores y se protege los recursos de los mantos freáticos y aguas superficiales. Al mismo tiempo se produce energía renovable y sustentable a partir del biogás obtenido y se reduce el uso de combustibles convencionales como la leña, que durante su combustión produce gases y cenizas que afectan a la salud humana.

3.2.6 IMPACTO SOCIAL

Además de los ahorros económicos, el impacto se da en el apoyo a la seguridad energética de Paraguay y al frigorífico al diversificar las fuentes de energía, y en el beneficio al ambiente. Hacer realidad el uso del potencial de biogás en Paraguay desarrollaría, con los instrumentos e incentivos adecuados, una industria nacional de biogás.

Esto, por ejemplo, aportaría nuevos empleos en la fabricación, venta, instalación y mantenimiento de equipos para la obtención y utilización del biogás. Aunado a una recaudación tributaria que apoyaría directamente al Estado. También generaría un nuevo campo de conocimientos en las universidades e institutos que impulsaría un mayor desarrollo tecnológico de la región.

3.2.7 POTENCIAL EN PARAGUAY

El potencial del aprovechamiento energético de las aguas residuales en la industria cárnica Paraguaya puede ser estimado entre 100-200 TJ⁸ por año, que es equivalente a 16,000- 33,000 TEP por año. Para poder afirmar estos valores estimados, una evaluación más profunda es requerida.

⁸ Se estima para una cantidad total de 40-60 frigoríficos en Paraguay.

3.2.8 RECOMENDACIONES

El aprovechamiento energético de las aguas residuales es una tecnología probada y madura, pero es importante conocer las necesidades de cada caso individual. Ya que cada frigorífico tiene condiciones generales diferentes, como: los esquemas de procesamiento, las capacidades, usos energéticos, etc., no se puede aplicar una solución general a todos los casos. Sin embargo, y debido al gran potencial energético y ambiental, y a la experiencia en otros países, se recomienda ampliamente incentivar a la industria cárnica con esquemas de tasas preferenciales o reducción de impuestos para la construcción de plantas de biogás en Paraguay. Esto como se mencionó, generaría nuevos empleos y el desarrollo de una industria de biogás nacional.

Además se recomienda la generación de carreras técnicas para el desarrollo de un recurso humano local capaz de efectuar una adecuada instalación y mantenimiento de los equipos que obtendrían y utilizarían biogás. Ya que una inadecuada instalación afectaría directamente el desempeño de estos equipos y la confianza de los usuarios finales.

3.3 BIOGÁS A NIVEL DE PEQUEÑOS PRODUCTORES

3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES GENERALES

El sector residencial/rural (pequeños productores) posee también un gran potencial para la recolección y uso del biogás en Paraguay. En esta sección se definen los resultados del proyecto: Promoción del uso del Biodigestores que propicie la conservación de los recursos forestales, la fijación de carbono, la protección y uso racional de los recursos hídricos, para la sostenibilidad ambiental y económica de las unidades de producción agropecuaria de las familias campesinas de Paso Jhú, Distrito de Piribebuy, Departamento de Cordillera”; propuesto por la Asociación de Docentes Investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA (ADIFCA), entidad sin fines de lucro (Decreto Ley 20.754/98).

3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para este proyecto se analizó el potencial de producción de biogás a partir de residuos domésticos y estiércol fresco, principalmente vacuno, en 20 fincas rurales del distrito de Piribebuy, la ciudad con el mismo nombre será la base de la operativa, la cual se halla a 87 km de la ciudad de Asunción. En estas fincas rurales es común encontrar por lo menos dos bueyes y dos a cuatro vacas lecheras. Lo que proporciona suficientes residuos orgánicos para la producción a pequeña escala de biogás.

Para esto se propuso utilizar un recipiente de 20 litros de estiércol fresco, en una relación de 1:4 de agua, es decir utilizar un volumen de 20 litros de estiércol y 80 litros de agua, los cuales son introducidos diariamente al biodigestor (Figura 7).

Para poder recoger 20 kg de estiércol al día basta con que la familia tenga una yunta de bueyes, o tres o cuatro vacas que se pastoreen, o una o dos que estén tabuladas. De igual modo pueden usarse otros tipos de estiércol, incluso mezclados, que cada día sumen 20 kg. Estos requisitos son muy comunes en familias rurales.

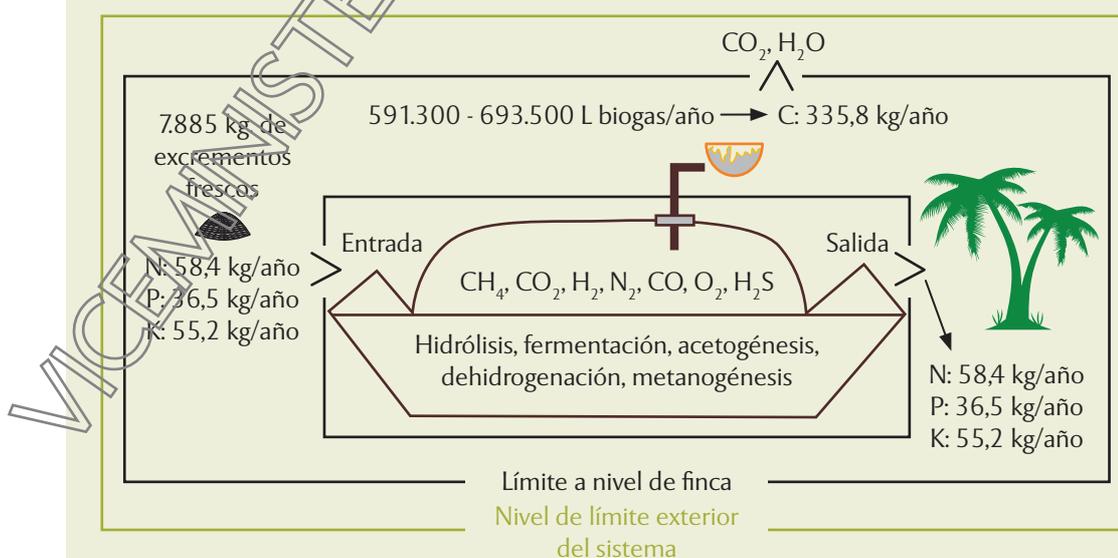
3.3.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Un biodigestor se utiliza para la producción y recolección del biogás a partir de residuos orgánicos (Figura 7). En los últimos años se han desarrollado diferentes diseños de biodigestores como el caso del tipo de la India y el modelo Chino, que en general han presentado problemas entre otros motivos por los altos costos, la aparición de grietas en el concreto usado para construir estas unidades, especialmente durante periodos largos de altas temperaturas. Esta situación ha sido observada en campos de Colombia, Costa Rica, Ecuador y Sri Lanka, donde los autores han estado envueltos en varios programas de extensión agrícola. Impulsado por la intención de resolver estos problemas, este estudio considera el biodigestor diseñado por el Dr. T.R. Preston.

Este biodigestor utiliza polietileno, en vez de cemento, como material esencial en su instalación. Una de las principales ventajas de un biodigestor de polietileno, comparado con otros modelos de digestores, es el bajo costo de instalación y mantenimiento. Además, los materiales usados en la instalación del biodigestor de polietileno, tienen la ventaja de ser de bajo peso y por lo tanto son fáciles de trasladar en las zonas rurales. La adopción de este tipo de biodigestores ha sido muy alta entre agricultores de áreas donde la leña escasea o el acceso a electricidad u otras fuentes de energía es limitado.

Este biodigestor consiste en dos láminas soldadas de 250 micrones de un polietileno de color negro, de un ancho de 2,50 m cada una, dando un tubo de 5 m de circunferencia, como sugerencia de los propios productores éstos optaron por un lardo de 5 m útiles lo que proporciona un volumen aproximado de 10 m³, con una fase líquida de 2/3 (75 % del total de la capacidad) y 1/3 para el almacenamiento del biogás (25 % del total de su capacidad). El biodigestor recibe una carga diaria de 20 kg de excrementos frescos mezclados con 80 litros de agua diariamente.

Figura 7: ESQUEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTES



Fuente: Hedlund y XuanAn, 2000

Una de las principales desventajas que han manifestado quienes adoptaron este tipo de biodigestor, es que se perfora fácilmente, por lo que se requiere de un cerco perimetral y dotarle de techo, que además le da un mayor tiempo de vida útil.

Las Figuras 8 y 9 muestran la propuesta esquemática aplicada en este proyecto y un biodigestor instalado en una de las fincas beneficiadas.

Figura 8: PROPUESTA ESQUEMÁTICA DEL BIODIGESTOR



Fuente: Biodigestor tipo Taiwán <http://biodigestoreseconomicos.blogspot.com/>

Figura 9: BIODIGESTOR INSTALADO EN UNA DE LAS 20 FINCAS FAMILIARES BENEFICIADAS



Fuente: foto propia, finca rural en Piribebuy



Producción de biogás en pequeñas fincas - Piribebuy

3.3.4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El biodigestor, que está considerado como un motor del sistema, es un diseño de bajo costo. El costo del sistema es de alrededor de 1.500.000 Gs (\$333 USD)⁹ y los materiales están disponibles en el mercado (Tabla 7). Si asumimos una vida útil de mínimo cinco años, el costo por año será de 300.000 Gs. Además se debe reemplazar solo el polietileno, aunque se puede extender la vida útil de polietileno, si se lo cubre con techo, pudiendo incluso prolongarse como el resto de los materiales, a una vida útil de aproximadamente 10 años.

Tabla 7: CUADRO COMPARATIVO DE COSTO ENERGÉTICO EN UN AÑO

Tipo de combustible	Precio Unitario (Gs)	Consumo unidad/mes	Unidad	Gasto total/mes (Gs)	Gasto total/año (Gs)
Carga de leña en m ³ estero	50.000	4	m ³	200.000	2.400.000
Garrafa de GLP	85.000	0,5	m ³	42.500	510.000
Carbón vegetal	2.500	60	kg	150.000	1.800.000
Costo de un biodigestor tipo bolsa			1		1.500.000

Fuente: elaboración propia

⁹ 1.500.000 Gs. a un tipo de cambio de 4.500 Gs/\$ USD

De acuerdo con una encuesta realizada por estudiantes, las familias en promedio utilizan una carga de carreta de leña por semana, esto se puede considerar de 1,5 a 2 m³ estéreo cada semana y en algunos casos, de acuerdo a la temporada, cada 15 días. Una carga tiene un precio promedio de 50.000 Gs., en un mes tendríamos aproximadamente 200.000 Gs. (\$44,4 USD) de costo ahorrado en leña no consumida.

Si consideramos estos montos un biodigestor cubriría su costo de inversión en un año al reemplazar la leña y el carbón. Esto sin considerar el costo por la mano de obra familiar, el costo de acarreo de los estiércoles, el asesoramiento técnico. Además debemos mencionar que en promedio la vida útil de la bolsa de polietileno es de cinco años, al cabo de los cuales se debe reemplazar la bolsa.

Otro elemento a considerar en la factibilidad económica del proyecto, son los beneficios que pudieran aportar el uso de los biofertilizantes a ser aplicados a los cultivos y a la recuperación de los suelos. La carga de mezcla diaria de estiércol con agua que se introduce al biodigestor será digerida por las bacterias y se producirá biogás. Pero por otro lado quedará un líquido ya digerido, que ha producido todo el biogás que podía, y que se convierte en un excelente fertilizante.

De los 20 biodigestores proyectados en este estudio, 16 se han instalados y 10 están produciendo biogás hasta el momento de la evaluación, los cuatro restantes serán instalados con la compra de materiales en los siguientes desembolsos; el grado de aceptación es alto entre los beneficiarios, se han constatado el interés de los vecinos muchos se han acercado a observar el funcionamiento, por lo que están solicitado el asesoramiento a la CIEH (Carrera de Ingeniería en Ecología Humana) para su probable instalación.

3.3.5 IMPACTO AMBIENTAL

La utilización de los biodigestores, que permiten reciclar los residuos orgánicos de la finca, en particular el estiércol de los animales, como el caso de los vacunos, disminuye las emisiones de gas metano a la atmósfera causantes del efecto invernadero.

Además se reduce la proliferación de los patógenos, se eliminan los malos olores y se protege los recursos de los mantos freáticos y aguas superficiales. Al mismo tiempo se produce energía renovable y sustentable a partir del biogás obtenido y se reduce el uso de combustibles convencionales como la leña que durante su combustión produce gases y cenizas que afectan a la salud humana.

3.3.6 IMPACTO SOCIAL

Con este proyecto se reduce el tiempo en las labores en la cocina y en la búsqueda de leña, por tanto se aminora o se suprime este trabajo en mujeres y niños.

Es una inversión de bajo costo para la familia; muchos materiales se pueden obtener en los mercados locales y en la finca; gran parte de la mano de obra la aporta la familia, el técnico sólo debe ofrecer la asesoría.

3.3.7 POTENCIAL EN PARAGUAY

Las familias rurales (sector residencial rural) es el sector de mayor demanda de biomasa sólida en Paraguay, (aproximadamente cuatro a seis millones toneladas de leña por año). En vista

que el consumo de leña actualmente es más alto que la producción y que las fuentes de leña se están perdiendo debido a la deforestación, el potencial de reemplazar leña por biogás es enorme. Este tipo de proyecto, tiene un buen potencial de ser replicado, por la misma fuente de financiación, con la condición de que debe realizarse en otra localidad; en base a este proyecto y con las mismas 20 familias beneficiadas, puede ser considerado como un proyecto replicable por parte de agencias gubernamentales o por organizaciones no gubernamentales, ya que puede servir de modelo de estudio y aplicación. Sin embargo aún no se tiene mucha experiencia en el país. Por lo tanto es recomendable observar los casos, aceptación, mantenimiento y adopción, antes de multiplicar la experiencia.

3.3.8 RECOMENDACIONES

El uso de biodigestores tipo bolsa ha sido parte de programas de desarrollo en varios países, tanto en Latinoamérica como en otras regiones, y los resultados señalados han sido auspiciosos. Es importante una mayor difusión de esta tecnología ya probada, mediante cursos de capacitación y la divulgación de la experiencia del proyecto en medios de comunicación.

Es también muy importante profundizar los estudios de casos en nuestro país y adaptar la tecnológica a las condiciones ambientales de Paraguay, para mejorar su eficiencia (por ejemplo, se recomienda verificar las fisuras en las soldaduras de las láminas de polietileno).

Otro reto a superar son los aspectos culturales, más que técnicos, a la hora de la adopción por parte de las familias rurales, ya que se comprobó que existe una alta expectativa por parte de las familias asistidas y en particular por las amas de casa hacia la fuente de biogás para la cocción de alimentos.

3.4 BIOMASA SOLIDA SOSTENIBLE PARA UNA INDUSTRIA DE CERÁMICA

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES GENERALES

En este estudio se analiza el caso de una industria cerámica que basa su abastecimiento energético en la dendroenergía. En Paraguay el uso de la biomasa es mayoritario a nivel de pequeñas, medianas y grandes industrias, por el costo de la leña, aserrín o carbón. Sustituir este combustible no es una opción válida en este momento para las industrias, pues el costo de energía alternativa como fueloil o electricidad es aún más alto. Además, cambios en fuentes de combustible requieren una reingeniería técnica. Sin embargo, la producción de leña en Paraguay no es sostenible, lo que resulta en una alta tasa de deforestación y degradación de bosques. Es justamente por estos motivos, que se evalúa la implementación de planes de reforestación con fines energéticos. Para este caso de estudio se analiza la cantidad de biomasa proveniente de reforestación que sería necesaria para abastecer de manera sostenible a la empresa.

3.4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La empresa de cerámica de este caso posee una producción de aproximadamente 1.144 t mensuales de distintos productos, pisos, tejas, teuelas, etc. Para dicha producción utilizan en los



Combustión de biomasa

hornos aserrín (15.912 m³/anuales) como combustible. El costo de este combustible es considerable (206.856 USD al año) y se estima que el precio seguirá subiendo. Además, el aserrín no tiene un mercado definido. Actualmente la empresa compra aserrín de 10 diferentes proveedores, lo que dificulta la provisión continua de este material. Años atrás el aserrín se consideró como “desecho” sin uso. Sin embargo, con los costos crecientes de la leña y la energía, el aserrín hoy día es una fuente de energía importante que tiene un valor en el mercado. Existe por lo tanto un gran interés de la empresa en una provisión continua del combustible, más homogéneo en calidad y porcentaje de humedad, con un costo más estable.

El uso de la biomasa sólida es muy alto en el país. La manera de lograr la sustentabilidad de este uso es asegurando que la biomasa sea de origen renovable a través de una reforestación propia. Además se podría lograr:

- La sustentabilidad de la matriz energética
- La provisión constante del dendroenergético
- La homogeneidad en el producto proveniente de la plantación forestal
- La reducción de los riesgos de un mercado de biomasa con precios crecientes
- La disminución de las deforestaciones a nivel de país
- La reducción de las emisiones de CO₂
- Generación de empleo a través de las forestaciones o reforestaciones

3.4.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA

La empresa se encuentra en el bajo Chaco, esta región posee tierras con aptitud para la implantación de forestaciones o reforestaciones. En esta zona de la Región Occidental, las precipitaciones favorecen a los requerimientos del proyecto. No existen riesgos de plagas forestales, tampoco está próximo, a un área protegida (de conservación o preservación). En general la zona es apta para la implementación de dicho proyecto y cumple con los requisitos técnicos y físicos que incluyen disponibilidad de agua y un suelo apto para dichas plantaciones.

El nuevo combustible dendroenergético propuesto para este estudio se basa en chips de madera provenientes de especies de rápido crecimiento que han demostrado su gran adaptabilidad a las condiciones climáticas y geográficas de Paraguay. Estas especies son:

- Clones de Eucalyptus spp (Eucalyptus grandis x camaldulensis)
- Plantines de semillas de Eucalyptus spp

Se espera que para el uso de este nuevo combustible sea necesario algún tipo de reingeniería para el transporte de los chips (bandas), hasta las calderas y/o lugar de almacenamiento del combustible. Por otra parte el poder calorífico del nuevo combustible es similar al del actual y se espera que posea una mejor homogeneidad (densidad y humedad), por lo tanto una posible mejora en el proceso de combustión.

En la Tabla 8 se pueden comparar dendroenergéticos con distintas características tanto de poder calorífico como de densidad y humedad, en comparación a un combustible convencional (petróleo liviano). Estos datos son los necesarios sumados a los costos de cada energético a la hora de evaluar la utilización de unos u otros.



Horno de cerámica alimentado a aserrín - Chaco-i

El consumo actual de biomasa como combustible para la fabricación de cerámicas en el caso del presente estudio es el siguiente:

- Consumo actual aproximado del dendroenergético: 51 m³ / día de aserrín.
- Días de producción mensual: 26
- Consumo anual: 15.912 m³

Para estimar la cantidad necesaria para reemplazar aserrín con leña o chips de madera se debe calcular el valor calorífico (Tabla 9).

En base a estos datos se puede asumir que se necesita aproximadamente 6.000 m³ Real de madera por año para reemplazar el aserrín.

Tabla 8: CARACTERÍSTICAS DE DISTINTOS DENDROENERGÉTICOS

Tipo de madera (t)	Humedad (%)	Densidad (kg/m ³)	Valor calorífico (kWh/kg)
Chip fresco	55	310	2,00
Chip viejo	40	235	2,89
Aserrín fresco	40	240	2,92
Aserrín seco	20	175	4,22
Leña	45	650	2,61
Leña	20	400-500	4,08
Pellets	6	660	4,9
Petróleo liviano			9,5 kWh/l

Fuente: elaboración propia en base a www.heizung-direkt.de

Tabla 9: CONVERSIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO DE ASERRÍN EN MADERA SÓLIDA

La cantidad de	Corresponde a
1 m ³ de aserrín (volumen)	0,3 m ³ Real de madera
16.000 m ³ de aserrín volumen (anual)	5.300 m ³ Real de madera
16.000 m ³ aserrín	15 - 22.000.000 kWh (depende de la humedad)
6.000 m ³ de madera	5.400 t de madera
5.400 t de madera	15 -22.000.000 kWh (depende de la humedad)

Fuente: elaboración propia



Plantines de Eucalyptus

Se asume una productividad de la reforestación en el Bajo Chaco con especies de Eucalyptus a $25 \text{ m}^3 / \text{ha}/\text{año}$ ¹⁰. Es decir que en ocho años se producen 200 m^3 . Para producir un total de 6.000 m^3 de madera en forma sostenible se necesita aproximadamente 240 ha.

3.4.4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para el análisis de factibilidad económica se consideran los siguientes valores (Tabla 10).

Tabla 10: COSTOS POR POSICIÓN PARA UNA REFORESTACIÓN

Posición	Valor	Unidad
Precio tierra (arrendado)	60	USD/ha/año
Cosecha final: cantidad	200	$\text{m}^3\text{R}/\text{ha}$
Cosecha y arrastre	20,0	USD/ m^3
Transporte (rollo; planchada - planta; 50 km)	10,0	USD/ m^3r
Producción chip (planta; propia maquina)	20,0	USD/ m^3r
Venta de chips (puesto en fabrica)	80,0	USD/t

Fuente: elaboración propia en base a www.heizung-direkt.de

¹⁰ La productividad del Eucalyptus varía con respecto a la zona del país. En Paraguay se han reportado hasta $40 \text{ m}^3 / \text{ha}/\text{año}$. Considerando valores conservadores, se tomó en promedio 25 m^3 anual para el bajo Chaco y 30 m^3 para la Región Oriental asumiendo plantas de calidad, suelo apto y un manejo adecuado.

En la Tabla 11 se puede observar que el costo total para una plantación energética y la producción de chips, más el transporte hasta la fábrica es de aproximadamente 12.491 USD por ha en ocho años. El costo para la plantación es 2.491 USD por ha (12.491 USD menos los costos de cosecha, arrastre, transporte y chipear).

Este costo total incluye un valor por la tierra, costos administrativos, costos de mantenimiento y cosecha, costos de chipear y costo de transporte hasta la fábrica (50 km). En este cálculo está incluida una tasa de inflación de 2% y una tasa de descuento de 10%. Se asume los costos de cosecha, arrastre y transporte en ocho años en base al valor de hoy. Se asume un costo fijo por arrenda de la tierra. Se produce 200 toneladas de chips que equivalen a 200 m³ de madera (esto puede variar en relación a la humedad). Los costos de chips son de 62,46 USD por tonelada (12.491 USD/200 t).

Si se vende el chip con un precio puesto en fábrica de 80 USD por tonelada la ganancia sería de 3.509 USD en ocho años con un TIR de 7%. Sin embargo, en este caso se quiere calcular los costos totales de energía a través de una plantación propia comparado con los gastos anuales por aserrín (Tabla 11).

Tabla 11: COMPARACIÓN ENTRE COSTOS DE ASERRÍN COMPRADO Y COSTOS DE CHIPS PRODUCIDO EN UNA PLANTACIÓN PROPIA

Posición	Monto	Unidad
Aserrín		
Costo de aserrín por m ³ (Volumen) puesto en fábrica	13	USD/m ³ puesto en fabrica
Consumo de aserrín por año	16.000	t aserrín por año
Costo por aserrín por año	208.000	USD por año
Chips		
Costo por ha de reforestación	2.491,47	USD/ha en 8 años
Costos de cosecha, transporte y chipear	10.000	USD para 200 toneladas
Costos totales para producir 200 t de chips	12.491,47	USD para 200 t de chips
Costo por t de chips	62,46	USD/ t de chips
Venta de chips (año 8 por ha)	16.000,00	USD para 200 t de chips
Ganancia por venta de chips (margen bruto por ha en 8 años)	3.509,00	USD para 200 t de chips
Costo total para 6.900 m ³ de chips (para reemplazar aserrín)	374.744,23	USD/año
Diferencia (costo total de chips menos costos totales de aserrín por año)	-166.744,23	USD/año

Fuente: elaboración propia en base a datos reportados por la industria

En base a este cálculo se puede concluir que el costo de la energía a través del aserrín sigue siendo más económico que la producción propia de chips a partir de una reforestación. Sin embargo la venta de chips en el mercado del Gran Asunción puede ser un negocio interesante. Además se debe considerar que los costos de producción de chips serán más bajos en la segunda rotación de la plantación porque se puede usar los brotes que salen de los tocones para la producción de leña o chips.

3.4.5 IMPACTO AMBIENTAL

Las plantaciones forestales poseen considerables beneficios ambientales, entre los que destacan: la protección y recuperación de suelos, protección de los cursos de agua, regulación del microclima, recuperación de áreas degradadas, mitigación de los impactos del efecto invernadero.

3.4.6 IMPACTO SOCIAL

Adicionalmente se puede considerar los beneficios sociales: generación de empleos en el área rural, desde la producción de las plantas en vivero hasta el aprovechamiento final y la comercialización, reducción de la migración (arraigo); y económicos: generación de materia prima para la producción de energía (leña, carbón, chips, pellets), aporte al crecimiento económico del país.

3.4.7 POTENCIAL EN PARAGUAY

Existe una alta demanda de leña, carbón y chips en Paraguay para fines energéticos. Los precios de la biomasa sólida han subido en los últimos años. La producción y venta de chips puede ser un negocio interesante si la distancia de transporte no es muy alta.

Sin embargo en este caso el precio del aserrín es más bajo que la producción sostenible de chips de madera.

En el marco de este estudio se realizó una evaluación a 78 cerámicas en el país que consumen un total de 185.000 m³R por año¹¹. La provisión de la madera no es de producción sostenible. Para abastecer este consumo de leña en forma sostenible las industrias deberían mantener una superficie de plantaciones de eucaliptus de rápido crecimiento (30 m³R por ha por año) de 6.166 ha. Sin embargo no existe ninguna reforestación realizada por la industria. Las cerámicas en su mayoría siguen comprando leña del mercado informal con precios cada vez más altos.

A pesar de este resultado el potencial de las plantaciones forestales en el país es muy alto por:

- La clasificación de suelos del país
- Las condiciones edafoclimáticas
- La ubicación estratégica del país

11 INFONA (Instituto Forestal Nacional, PY) 2011. Plantaciones Forestales con fines energéticos: Las especies forestales *Eucalyptus camaldulensis* y *Coriambacitriodora*, fuentes alternativas de energías renovables. San Lorenzo, PY.



Reforestación con fines energéticos

- El acceso a los mercados de la región
- La disponibilidad de grandes superficies de tierras
- La disponibilidad de mano de obra

3.4.8 RECOMENDACIONES

Comparando los precios de producción de chips y los precios actuales del aserrín, es obvio que la compra de aserrín es la opción más económica para el propietario. Sin embargo, la producción y venta de chips en un mercado formal interno en Paraguay puede ser un negocio. Además es importante considerar el posible incremento del precio del aserrín en un futuro y la escases del mismo, por lo que este tipo de industrias deberían empezar a considerar el uso sustentable de la biomasa sólida.

4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La demanda de energía en Paraguay ha presentado un incremento considerable en los últimos años, y es muy probable que los precios de los energéticos sigan en aumento. El aprovechamiento de los recursos renovables en Paraguay posee, sin dudas, múltiples y grandes beneficios no solo para la diversificación de la matriz energética Paraguaya, sino también para parámetros económicos, sociales y ambientales. Como se comprobó en los casos analizados en este estudio, existen grandes nichos para el aprovechamiento de la energía solar, el biogás y la biomasa sólida en el país.

El aprovechamiento de la **energía solar** a baja temperatura no solo contribuiría con grandes beneficios económicos a nivel familiar, sino a nivel nacional, evitando costos de producción, operación, mantenimiento y transmisión de electricidad, así como las pérdidas técnicas. Si estos costos evitados son sumados podrían generar un fondo económico para incentivar aún más la penetración de los calefones solares en el sector residencial e industrial, otorgando créditos a los usuarios a una tasa preferencial para amortizar los costos iniciales.

Este gran potencial en Paraguay podría desarrollar, con los instrumentos e incentivos adecuados, una industria nacional solar. Donde el rol de las universidades y el del sector privado serán fundamentales en el sentido del desarrollo de nuevas tecnologías, la provisión de equipos y la formación de mano de obra calificada.

Por otra parte, el aprovechamiento del **biogás** no solo contribuye con beneficios económicos a los usuarios finales, también aporta grandes beneficios ambientales, como la disminución del metano liberado a la atmósfera (causa del efecto invernadero), las emisiones atribuidas al ganado doméstico, la fermentación entérica, el estiércol, la quema de residuos y suelos agrícolas etc.

Finalmente, el **uso eficiente y sustentable de la biomasa sólida** (a través de plantaciones forestales) es un tema clave para el desarrollo económico y sustentable en Paraguay. Los múltiples beneficios económicos y ambientales, sumados a un uso eficiente del suelo y los bosques paraguayos, no solo contribuyen a mejorar la matriz energética paraguaya, sino sumarían grandes beneficios sociales en zonas rurales, pues es necesario mano de obra local, suficiente y constante para los tratamientos silviculturales.

El reto es ahora encontrar mecanismos para incentivar los proyectos del aprovechamiento sustentable de los recursos renovables en Paraguay. Para esto se requiere la activa participación y colaboración del Estado Paraguayo en el fomento de:

- Capacidad técnica.
- Difusión y divulgación de conocimientos.
- Formación de recursos humanos.
- Participación activa del sector privado.
- Política que incentive inversiones en energía renovable.

5

PRÓXIMOS PASOS

Además de lo mencionado anteriormente, para un adecuado aprovechamiento de los recursos renovables en Paraguay se recomienda seguir los próximos pasos:

- Incentivar inversiones en las diversas fuentes de energía renovable con gran potencial demostrado en este estudio.
- Fomentar mayores estudios para el aprovechamiento de los recursos renovables del país.
- Generar proyectos demostrativos y públicos del uso de los recursos renovables, (1 o 2 casos para cada tecnología de aprovechamiento de la energía solar, biomasa sólida y biogás).
- Desarrollo de esquemas financieros o créditos a bajo interés para el financiamiento de proyectos de aprovechamiento de los recursos renovables.
- Generar conjunto con las Universidades e Institutos de carreras técnicas el desarrollo de recursos humanos locales capaces de efectuar una adecuada instalación y mantenimiento de los equipos de aprovechamiento de la energía renovable.
- Generar normas y/o especificaciones para garantizar los equipos de aprovechamiento de las diversas fuentes de energía renovables.
- Normar las empresas que podrían proporcionar estos equipos para que entreguen una garantía del dispositivo, manual de usuario (operación, mantenimiento e instalación). Y se genere una lista nacional de centros de atención a usuarios.



REFERENCIAS

- EPH 2010, Encuesta Permanente Hogares (EPH), Dirección General de Estadística Encuestas y Censos, (DGEEC), 2012.
- IEA-SHC 2011, Solar Heating and Cooling Programme, the International Energy Agency, Annual report 2011, <http://www.iea-shc.org>
- GIZ 2011, Situación de Energías Renovables en el Paraguay, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Cámara de Comercio e Industria Paraguayo-Alemana, Marzo 2011.
- Hedlund, A., Xuan An, B. 2000. A theoretical integrated nutrient flow on a farm with three sub-systems in An Son village in Southern Vietnam (online). In Proceedings of the Internet Conference on Material Flow Analysis of Integrated Bio-Systems (March-October, 2000). Foo, E.; Della, T.; Sakamoto, K. (Editors). Integrated Bio-Systems Network. Available at <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ic-mfa/hedlund/index.htm>
- SIEN 2013, Sistema de Información Energética Nacional, <http://www.ssme.gov.py/>, consultado Agosto 2013.
- VMME 2011, Viceministerio de Minas y Energía, Paraguay. Balance Energético Nacional 2011. Asunción, PY. 30p.
- VMME 2013, Balance Energético Nacional 2012, Publicación Junio 2013.



ANEXOS

ANEXO 1 - CÁLCULOS ENERGÉTICOS

Tabla 12: ENERGÍA DUCHA INDIVIDUAL (QU)

Qu = (litros/día)(densidad del agua)(calor específico)(incremento en la temperatura)		
Cantidad Agua:	55	litros/día
Densidad Agua	1	kg / litro
Calor Específico	4187	kJ / kg ° C
Incremento Temperatura	25	° C
Total	5757	Kjoules

Tabla 13: ANÁLISIS SIMPLIFICADO PARA ESTIMACIÓN DEL CALEFÓN SOLAR

Energía ducha individual	5,76	Mjoules
Habitantes por vivienda	4	
Días/año	365	
Consumo energético por vivienda	8405,4	Mjoules/año
Radiación Solar en Paraguay	6210	Mjoules/m ² /año
Eficiencia Calefón Solar	50%	
Se requieren aproximadamente	2,71	m ²

FACTORES DE CONVERSIÓN

1 Watt/hora = 3600 Joules,

Electricidad: 0,086 tep/ MWh,

1000Joules = 1kJ,

1000kj = 1MJ

ANEXO 2 - ESCENARIO CASO UNITARIO

Tabla 14: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN CALEFÓN SOLAR DE AGUA

Calefón solar de agua							
Año ref.	Año	Costo Equipo (USD)	Costo instalación (USD)	Mtto y Op. (USD)	Costo Combust.	Costo Total (USD)	
0	2012	\$909,09	\$181,82	\$5,00	\$0,00	\$1,095,91	
1	2013	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
2	2014	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
3	2015	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
4	2016	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
5	2017	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
6	2018	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
7	2019	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
8	2020	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
9	2021	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
10	2022	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
11	2023	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
12	2024	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
13	2025	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
14	2026	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
15	2027	\$0,00	\$0,00	\$5,00	\$0,00	\$5,00	
						VPN	\$1030,85

Datos

Tasa de descuento	10%
Tasa de incremento electricidad	5%
Consumo anual eléctrico vivienda promedio	1340,3 kWh

Regadera eléctrica						
	Costo equipo (USD)	Costo instalación (USD)	Mtto y Op. (USD)	Precio electricidad (USD/kWH)	Costo electricidad evitado (USD/kWH)	Costo del proyecto Total (USD)
	\$15,00	\$0,00	\$0,00	\$0,08	\$111,32	-\$969,59
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,09	\$116,89	\$111,89
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,09	\$122,73	\$117,73
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,10	\$128,87	\$123,87
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,10	\$135,31	\$130,31
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,11	\$142,07	\$137,07
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,11	\$149,18	\$144,18
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,12	\$156,64	\$151,64
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,12	\$164,47	\$159,47
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,13	\$172,69	\$167,69
	\$15,00	\$0,00	\$0,00	\$0,14	\$181,33	\$191,33
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,14	\$190,39	\$185,39
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,15	\$199,91	\$194,91
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,16	\$209,91	\$204,91
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,16	\$220,40	\$215,40
	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,17	\$231,43	\$226,43
					VPN	\$156,77
					TIR	12,61%
					VPN costos electricidad evitados	\$1142,03
					VPN Calefón Solar	\$969,59
					Pagos anuales beneficios	\$150,15
					Periodo de recuperación	6,46

VICEMINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

VICEMINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA



VICEMINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Cooperación Alemana al Desarrollo

San Benigno 1315 s/Chol. Torres
Asunción- Paraguay
Casilla de correo 1858
T +595-21- 808 164 / 811 043
F +595-21- 814 048
E giz-paraguay@giz.de
I www.giz.de/Paraguay