

ESTELA MARÍA RIVEROS RODAS
SEGUNDO JAVIER AMATTE MERELES

**MEDIDAS DE SUSTITUCIÓN EFICIENTE DE FUENTES DE ENERGÍA EN
LA REPÚBLICA DEL PARAGUAY**

Monografía presentada a Eco_Lógicas: Concurso
Mercosur de Monografías sobre Energías Renovables y
Eficiencia Energética, promovido por el Instituto IDEAL.
Orientación: Profesor Dr.-Ing. Gerardo Blanco Bogado.

RESUMEN

La presente monografía expone una investigación referente a “medidas de sustitución eficiente de fuentes de energía en la República del Paraguay”. El trabajo tuvo por objetivo identificar los delineamientos fundamentales para alcanzar una disminución en el consumo de leña y diesel, y un aumento en la penetración de la electricidad en la matriz energética de República del Paraguay, mediante el análisis de prospectiva energética.

Para tal efecto se ha utilizado el software LEAP© (Long-range Energy Alternatives Planning System) para la elaboración de un modelo energético integral del Paraguay y el análisis de una prospectiva energética, teniendo en cuenta diversos escenarios: un escenario tendencial, donde no se aplican los cambios, y escenarios deseados, donde las principales medidas se aplican en los diferentes componentes del sector energético.

Las medidas de planificación actuaron sobre la intensidad energética y sobre la participación que tuvo cada fuente de energía en algunos sectores mediante la implementación de medidas de eficiencia energética. Las medidas que fueron seleccionadas para ser implementadas son: “sustitución de las cocinas tradicionales basadas en biomasa por cocinas más eficientes en el sector residencial rural”, “incorporación del tren diesel” e “incorporación del tren eléctrico”.

PALABRAS CLAVES: Energía, Sustitución, Eficiencia

ABSTRACT

This work exposes a research about “measures of efficient substitution of energy sources the Republic of Paraguay”, the objective of the work was to identify the fundamental outlines in order to achieve a reduction of the Wood and diesel consumption, as well as an increment of the electricity penetration into the energy matrix of the Republic of Paraguay, by means of a prospective energy analysis.

The software LEAP© (Long-range Energy Alternatives Planning System) has been used for developing a comprehensive and integral energy model of Paraguay as well as to perform prospective analysis of energy, by taking into account several scenarios: a baseline scenario, where no changes are applied, and alternatives scenarios, where key structural changes within the energy sector are analyzed.

Planning measures were applied on the energy intensity and the share that had each energy source in some economic sectors by implementing energy efficiency measures. The measures selected to be implemented are: “replacement of the traditional stoves based on biomass for efficient stoves in rural residential sector”, “incorporation of a diesel train” and “incorporation of an electric train” in the transport sector.

KEY WORDS: Energy, Substitution, Efficiency

INDICE

Resumen/Abstract.....	iv
1. Introducción.....	3
2. Contexto: Evolución del consumo de energía en el Paraguay.....	3
3. Metodología.....	5
3.1 Presentación del software utilizado.....	5
3.2 Elaboración del modelo energético integral en LEAP©.....	6
3.2.1 Fuente de datos.....	6
3.2.2 Estructura.....	6
3.2.3 Validación del modelo.....	7
3.3 Análisis de prospectiva energética.....	7
3.3.1 Escenario tendencial.....	8
3.3.2 Escenario 1: cocinas eficientes.....	9
3.3.3 Escenario 2: tren diesel.....	12
3.3.4 Escenario 3: tren eléctrico.....	14
3.3.5 Relación costo/beneficio.....	16
4. Conclusión.....	17
5. Referencias Bibliográficas.....	18
6. Notas.....	18

1. INTRODUCCIÓN

El tema abordado en la presente monografía es “medidas de sustitución eficiente de fuentes de energía en la República del Paraguay”. El trabajo tuvo por objetivo identificar los delineamientos fundamentales para alcanzar una disminución en el consumo de leña y diesel, y un aumento en la penetración de la electricidad en la matriz energética de República del Paraguay, mediante el análisis de prospectiva energética.

El Paraguay posee una característica particular que lo diferencia de los demás países en desarrollo, esa característica es la relación que existe entre la capacidad energética basada en energía hidroeléctrica y el consumo final de electricidad.

En la matriz energética del 2008 elaborada por el VMME se establece que de la energía generada por los recursos de nuestro país el 58% es de origen hidroeléctrico, Sin embargo, apenas el 14% de la energía consumida es hidroeléctrica. El 53% es biomasa, en su mayoría, producida de manera no renovable. El restante 33% representa los derivados del petróleo.

En dicho contexto, esta estructura y composición de la matriz energética no puede ser considerada sustentable. Según estudios del Viceministerio de Minas y Energía (VMME), en base a la Metodología OLADE, el grado de sustentabilidad del sistema energético muestra debilidades específicas en los indicadores económicos (productividad) y de equidad (cobertura de necesidades básicas).

Ante esa realidad surge la elección del tema de investigación que busca dar respuesta a la siguiente pregunta ¿Cuáles son las medidas, programas o pautas necesarias para lograr alcanzar una matriz energética sustentable en el 2030?

2. CONTEXTO: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL PARAGUAY

El Paraguay históricamente se ha caracterizado por el consumo primario de la biomasa con fines energéticos y por la importación de hidrocarburos para abastecer su demanda de energía.

La electrificación del país, a cargo exclusivamente de la ANDE, fue iniciada en los años 1970. Por entonces, el esfuerzo se concentraba mayormente en la electrificación de las zonas urbanas y la mayor parte de la energía eléctrica generada provenía todavía de centrales térmicas, basadas en combustibles petrolíferos importados en su totalidad. Durante esta fase, la expansión siguió un ritmo de 9 % por año en el número de usuarios para llegar en el año 1990 a una cantidad de alrededor de 406.419 usuarios, cuando el número era de apenas 107.563 en el año 1975. En lo que se refiere al índice de cobertura del servicio de electricidad, esta expansión se tradujo en un incremento desde niveles del orden del 16%, a inicios de los 70, hasta alcanzar un nivel de aproximadamente 50% a fines de los 80 e inicios de los 90.¹

La construcción de las centrales hidroeléctricas de Acaray, Itaipú y luego de Yacyretá, y paralelamente de la red de transmisión hacia los centros urbanos más importantes en el transcurso de los años 1980 y 1990, permitió disponer de la infraestructura y cantidades de energía necesarias para impulsar la electrificación rural.

En dicho contexto, recién al inicio de los años 1990 comenzó la fase de la electrificación predominantemente rural a base de la expansión de líneas principalmente de media tensión. El consumo de energía eléctrica en un período de más de 25 años se incrementó en el orden del 1000%, de 500 GWh en 1970 a 5000 GWh al año en 1997.²

Como se ha mencionado anteriormente, los grandes proyectos hidroeléctricos implementados en la década de los años 70 marcaron la evolución de la Oferta Interna Bruta de energía en el Paraguay. La Oferta Interna Bruta de hidroenergía en el año 2006 resultó aproximadamente 355 veces la registrada en el año 1970.³

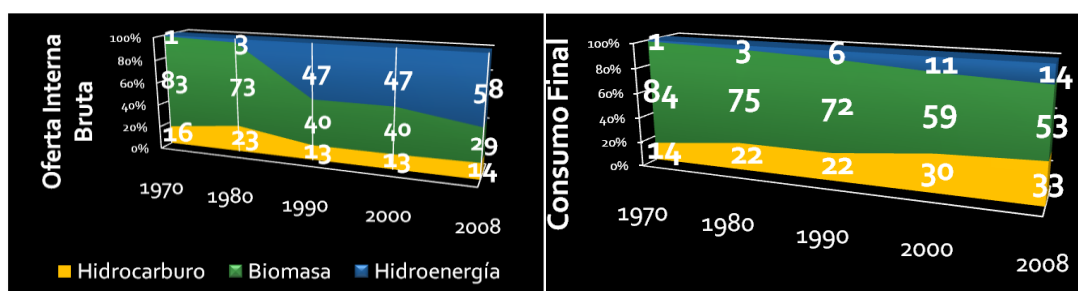


Fig.1. (a) Evolución de la oferta interna bruta de energía del Paraguay y (b) del consumo final de energía del Paraguay. Fuente: Viceministerio de Minas y Energías

Sin embargo, el consumo final de la energía eléctrica no acompañó la evolución de la oferta interna bruta de hidroenergía, ya que el consumo de electricidad en el año 2006 fue sólo 28 veces el registrado en 1970.⁴

A través de los gráficos de arriba se puede observar que existe un claro “desequilibrio” energético a favor de la biomasa, ya que, como antes, sigue teniendo un papel preponderante dentro de la matriz energética del Paraguay, a pesar de ser una fuente de energía de baja eficiencia en comparación con la electricidad.

Además en la matriz energética del 2008 elaborada por el VMME se establece que, de la energía generada por los recursos naturales de nuestro país, el 58% es de origen hidroeléctrico. Sin embargo, apenas el 14% de la energía consumida es hidroeléctrica. Siendo el 53% biomasa, en su mayoría, explotada de manera no renovable. El restante 33% representa los derivados del petróleo.

Por lo tanto, se puede observar que una característica particular, que diferencia al Paraguay de los demás países en desarrollo, es la relación que existe entre la capacidad energética basada en hidroelectricidad y el consumo final de electricidad.

En dicho contexto, esa estructura y composición de la matriz energética no puede ser considerada sustentable, según estudios del Viceministerio de Minas y Energía (VMME), realizados en base a la Metodología OLADE, en los cuales el grado de sustentabilidad del sistema energético paraguayo muestra debilidades específicas en los indicadores económicos (productividad) y de equidad (cobertura de necesidades básicas).

3. METODOLOGIA

Este trabajo de investigación requirió un estudio Experimental-Descriptivo. Se utilizó el software LEAP© (Long-range Energy Alternatives Planning System, o Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo).

A lo largo de la investigación, se han recopilado datos existentes en las diferentes instituciones públicas y privadas relacionadas tanto al consumo como a la oferta de las diferentes fuentes de energía utilizadas en el Paraguay.

Para el buen desarrollo del trabajo, se ha recurrido a las siguientes revisiones: fuentes primarias, secundarias, electrónicas e informáticas.

El universo estudiado estuvo compuesto por: el Vice Ministerio de Minas y Energías (VMME), porque es el único órgano estatal que tiene competencias en materia de todos los sectores energéticos. Asimismo, fueron recopilados datos de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), la cual es el ente estatal encargado del subsector eléctrico y desarrolla actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, contando con datos detallados de los diferentes sectores de consumo de energía eléctrica. Posteriormente, la Dirección Nacional del Transporte (DINATRAM), otorgó datos estadísticos, como el recorrido de los ómnibus y la cantidad de los mismos. Por su parte, la Dirección del Registro del Automotor proporcionó datos referentes a la cantidad de vehículos registrados en el país por año. De la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censo (DGEEC) fueron relevados datos estadísticos y estudios a partir de documentaciones referidas a la Encuesta Permanente de Hogares, el Censo del 2002, el Censo Económico, etc. Para la obtención de información, se tomaron los criterios de inclusión de los entes citados más arriba.

Para el procedimiento de recolección, se utilizó el método de observación y las entrevistas a los entes citados más arriba.

Los resultados de la información que se ha recaudado del VMME, ANDE, DINATRAM, la Dirección del Registro del Automotor, la DGEEC, entre otros, sirvieron de insumo para la elaboración del modelo energético integral y el posterior análisis de prospectiva energética, que han permitido el delineamiento de estrategias o medidas de sustitución eficiente de fuentes de energía.

El examen de cada variable se realizó en forma individual. Tanto la tabulación como el análisis de los datos obtenidos se realizó aplicando los recursos del software Microsoft Excel© (versión 2010), apoyados en la estadística descriptiva y aplicación de medidas de frecuencia, tendencia y dispersión.

3.1. PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO

El software utilizado para el análisis de los diferentes escenarios y cuyos resultados han llevado a definir las medidas de sustitución de energía más apropiadas a implementar en el Paraguay es el LEAP©, con la capacidad de brindar un soporte integrado y confiable, para el desarrollo de estudios de planeamiento energético integral y de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI)⁵.

El LEAP© es una herramienta que sirve para modelar escenarios energéticos y ambientales. Dada su flexible estructura de datos, el software permite realizar profundos análisis en especificación tecnológica y detalles de consumo final⁶.

Utilizado actualmente por más de 10.000 usuarios distribuidos en 196 países el LEAP© fue desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI-US), y la primera versión data de 1980. A fines de los '90, el modelo fue actualizado, incorporando una serie de herramientas de planificación energética. Esta actualización fue realizada por el SEI-US, y numerosas instituciones académicas internacionales⁷.

3.2. ELABORACIÓN DEL MODELO ENERGÉTICO INTEGRAL EN LEAP©

En dicho contexto, se ha elaborado en el entorno LEAP© un modelo energético integral del Paraguay. Los escenarios fueron basados en balances integrales sobre la forma en que se consume, transforma y produce energía en el país, según una gama de premisas básicas de población, desarrollo económico, tecnología, precios, y otras características.

3.2.1. FUENTE DE DATOS

Los datos utilizados para la elaboración del modelo energético integral del Paraguay fueron obtenidos de las instituciones citadas en la metodología. Las principales fuentes de los datos fueron: la Compilación Estadística 1983 al 2006 de la ANDE, los Balances Energéticos del Paraguay 1970 al 2009 del VMME, el Informe Económico 2010 al 2011 y datos del PIB 1970 al 2009 del BCP, el Estudio de Demanda: Paraguay, Aplicación Del Modelo MAED-OIEA, proyecto RLA/0/040 del VMME, el Anuario Estadístico del Paraguay 2000 al 2009 de la DGEEC, la Encuesta Permanente de Hogares 2004 al 2009 de la DGEEC, Trípticos de los Resultados Finales del Censo Nacional de Población y Viviendas 2002 de la DGEEC y del Anuario Estadístico de Transporte 2006, 2007 y 2009 de la DINATRAN entre otros.

3.2.2. ESTRUCTURA

En el modelo energético, la estructura de la rama de demanda de energía fue dividida en los sectores de consumo de energía expuestos en la Fig. 2. Asimismo, la estructura de la rama de transformación de energía puede observarse en la misma figura.

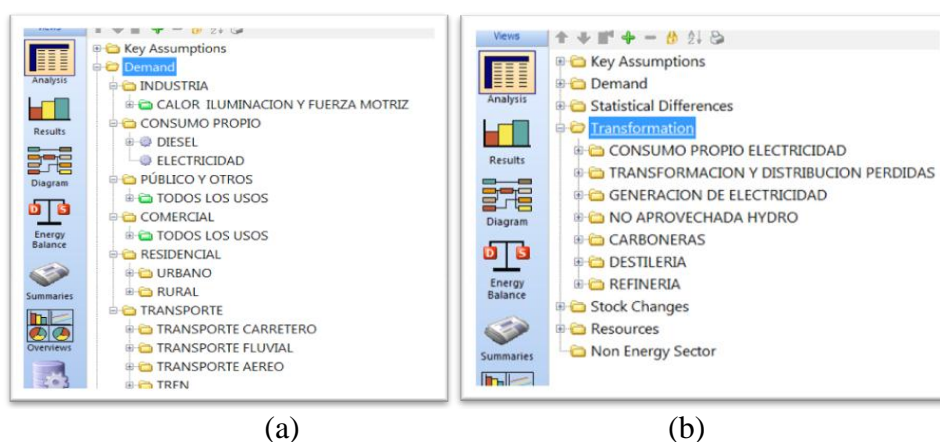


Fig. 2. (a) Estructura de la rama de demanda de energía y (b) estructura de la rama de transformación de energía. Fuente: elaboración propia (interfaz gráfica del software LEAP©).

Asimismo, los recursos primarios y secundarios que fueron necesarios para abastecer la demanda y la exportación de energía son mostrados en la Fig.3.

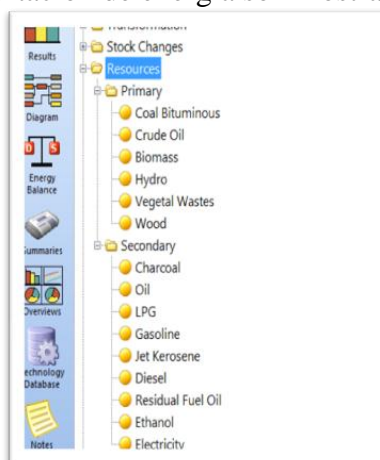


Fig. 3. Estructura de la rama de recursos primarios y secundarios. Fuente: elaboración propia (interfaz gráfica del software LEAP©).

3.2.3. VALIDACIÓN DEL MODELO

Es importante destacar que el modelo energético integral en LEAP© del Paraguay, desarrollado en este trabajo, reprodujo con exactitud los datos del balance energético de la República del Paraguay obtenidos del VMME, validando así los resultados obtenidos, permitiéndonos proceder al análisis de prospectiva energética.

3.3. ANÁLISIS DE PROSPECTIVA ENERGÉTICA

La prospectiva del sector energético ha sido desarrollada teniendo en cuenta diversos escenarios, a saber: un escenario tendencial, donde no se aplicaron cambios estructurales mayores al sector energético, y escenarios alternativos, donde las principales medidas se aplicaron en los diferentes componentes del sector de la energía. Buscando que este análisis proporcione una herramienta para facilitar la planificación y análisis del sector energético de acuerdo a las políticas consideradas por los planificadores y tomadores de decisiones.

Las medidas de planificación actuaron sobre la intensidad energética y sobre la participación que tuvo cada fuente de energía en algunos sectores, mediante la implementación de medidas de eficiencia energética.

Se ha tomado como año base de estudio el año 2004, dado que para dicho año se ha obtenido la mayor cantidad de datos necesarios para la aplicación del LEAP©. Además, el año 2004 no presentó variaciones atípicas que pudieran catalogarlo como un año con comportamientos extremos, como sí lo son años más recientes.

A partir del modelo desarrollado, se han realizado las proyecciones de los escenarios estudiados hasta un horizonte en el año 2030 de manera tal a disponer de elementos de juicio a mediano y largo plazo.

3.3.1. ESCENARIO TENDENCIAL

El escenario tendencial se basó en una proyección lineal en base a datos históricos de consumo y sus tendencias. La tendencia del PIB ha sido basada en modelos econométricos aptos y el crecimiento poblacional según estimaciones de la ONU⁸.

En dicho sentido, si las tendencias actuales en el consumo de energía se mantienen, la evolución de la matriz energética del Paraguay para el año 2030 del escenario tendencial se expone en el siguiente gráfico.

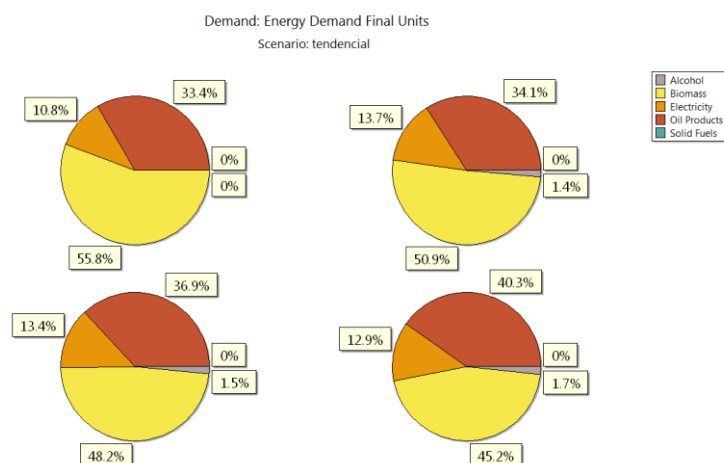


Fig.4. Escenario tendencial, evolución de la demanda de energía final. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Demand: Energy Demand Final Units					
Scenario: tendency					Ann Avg
Branch: Demand					Growth (%)
Units: Thousand Tonne of Oil Equivalents	2004	2008	2025	2030	2004-30
Alcohol	0,2586	28,9642	79,0393	88,8779	"25,1829%"
Biomass	2094,9352	2048,6846	2339,71	2413,0243	"0,5452%"
Electricity	406,1862	513,8699	659,9706	690,2876	"2,0605%"
Oil Products	1252,2593	1322,0903	1929,6941	2150,5449	"2,1017%"
Solid Fuels	0	0,23	0,1374	0,142	N/A
Total	3753,6393	3913,8391	5008,5514	5342,8767	"1,3671%"

Tabla 1. Unidades de Demanda de Energía Final. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

En la tabla de arriba se puede observar la evolución de la demanda de energía final del escenario tendencial por fuente de energía en miles de toneladas equivalentes de petróleo y el respectivo crecimiento porcentual.

Para el año 2030 se observó aún una gran dependencia de la biomasa y los hidrocarburos, y poca participación de la electricidad, matriz que para el año en cuestión no mejoraría los índices de sustentabilidad antes mencionados. Por lo tanto, se ha visto

necesaria la aplicación de algunas medidas energéticas que ayuden a mejorar estos indicadores de la matriz energética prevista para el año 2030.

Fueron aplicadas tres medidas de sustitución de fuentes de energía y eficiencia energética, para mejorar el escenario tendencial para el año 2030.

3.3.2. ESCENARIO 1: COCINAS EFICIENTES

La primera medida analizada fue “sustitución de las cocinas tradicionales basadas en biomasa por cocinas más eficientes en el sector residencial rural”. Se decidió aplicar dicha medida ya que el sector residencial rural es uno de los mayores consumidores de leña, empleada para la cocción de alimentos.

Además, es importante destacar que el uso residencial de la biomasa es importante desde el punto de vista de las emisiones de GEI por dos significativas razones. Primeramente, el consumo de biomasa produce emisiones netas de CO₂, dado que un porcentaje de la leña empleada no se corta de manera sostenible. En segundo lugar, se emiten GEI distintos al CO₂ por la combustión incompleta de la biomasa. Por otra parte, el uso típico de la biomasa está seriamente vinculado con severos problemas respiratorios y de otra índole que afectan a la salud, principalmente entre las mujeres y menores en zonas rurales, por la exposición al humo producto de la combustión incompleta de la leña. La experiencia internacional demuestra que la transición hacia la utilización del gas LP en las viviendas rurales enfrenta importantes barreras económicas y culturales; por ello en el corto plazo la difusión de estufas o cocinas mejoradas de leña es la manera más factible para resolver tanto el impacto sobre la salud como las emisiones de GEI [Referencia México]. Investigaciones realizadas al respecto indican que existen beneficios resultantes de daños reducidos a la salud y protección al medio ambiente (externalidades) de alrededor de: \$341,64/estufa/año

El consumo de leña total en el año 2008 fue de 1.266 kTEP de los cuales en el sector residencial se consumió 440,48 kTEP siendo el sector con mayor consumo de esta tecnología con una participación del 34,8% , en este sector el consumo en cocción de alimentos en el sector rural es de 375,47 representando el 85,17% del consumo del sector residencial y 29,6% del consumo de leña total del 2008, la tendencia que arroja el comportamiento es que para el año horizonte la representatividad de la leña en el sector rural alcanzará 552,4679 kTEP que representará el 85,6% del consumo de leña en el sector residencial y 36,22% del consumo total de leña del año 2030.

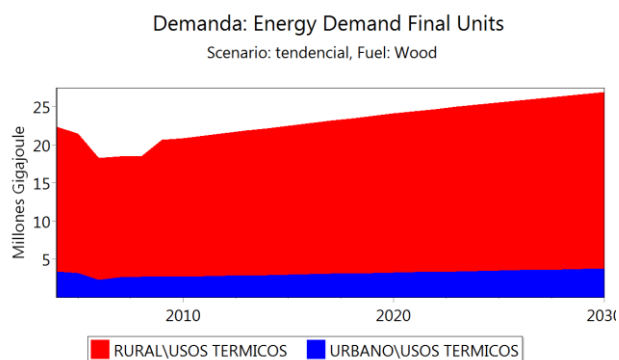


Fig.5. Escenario tendencial, evolución de consumo de leña sector residencial por uso.
Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Demand: Energy Demand Final Units					
Scenario: tendency, Fuel: Wood					Ann Avg
Branch: Demand\RESIDENTIAL					Growth (%)
Units: Thousand Tonne of Oil Equivalents	2004	2008	2025	2030	2004-30
RURAL\USOS TERMICOS\COCCION DE ALIMENTOS	451,9616	375,4703	526,546	552,4679	"0,7753%"
URBANO\USOS TERMICOS\COCCION DE ALIMENTOS	81,8466	65,0142	84,064	90,1261	"0,3713%"
Total	533,8082	440,4845	610,61	642,5941	"0,7159%"

Tabla 2. Unidades de Demanda de Energía Final, consumo de leña sector residencial por uso. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Con dicha medida se prevé el abastecimiento de cocinas MIRT⁹, que disminuye en un 50% el uso de leña, a 30.000 viviendas rurales, y el abastecimiento de cocinas eléctricas a 150.000 viviendas rurales.

Los resultados de la implementación de esta medida se observan en la serie de gráficos presentada a continuación.

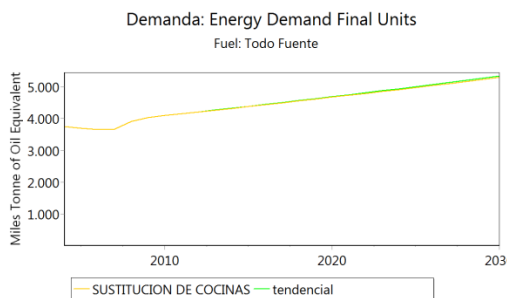


Fig.6. Comparación entre escenarios, demanda final de energía. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

En el consumo total de energía del país, la incidencia no es significativa en comparación con el escenario tendencial, pero en el sector residencial podemos observar mejor las ventajas de la implementación de dicha medida a través de los siguientes gráficos:

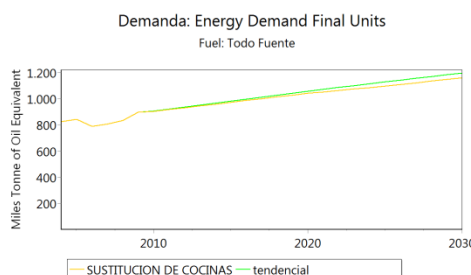


Fig.7. Comparación entre escenarios, demanda final de energía del sector residencial. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Al año 2030 la participación del consumo residencial rural en cocción de alimentos tendría una participación del 36,22% con un consumo de 552,46 kTEP, mediante la aplicación de esta medida se pudo reducir este porcentaje al 34,03% a un

consumo de 501,82 kTEP, reduciendo un total de 50,64 kTEP de leña no obstante la introducción de cocinas eléctricas aumentó el consumo de electricidad en 15,01 kTEP.

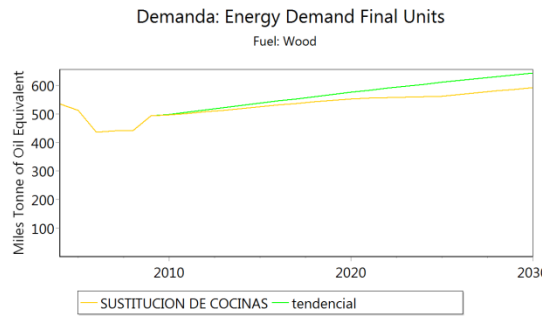


Fig.8. Comparación entre escenarios, demanda final de leña del sector residencial.
Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Demand: Energy Demand Final Units					
Fuel: Wood					Ann Avg
Branch: Demand\RESIDENTIAL					Growth (%)
Units: Thousand Tonne of Oil Equivalent	2004	2008	2025	2030	2004-30
SUSTITUCION DE COCINAS	533,8082	440,4845	562,341	591,9487	"0,3984%"
tendencial	533,8082	440,4845	610,61	642,5941	"0,7159%"
Total	1067,6164	880,9691	1172,951	1234,5427	"0,5603%"

Tabla 3. Unidades de Demanda de Energía Final, consumo de leña sector residencial.
Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

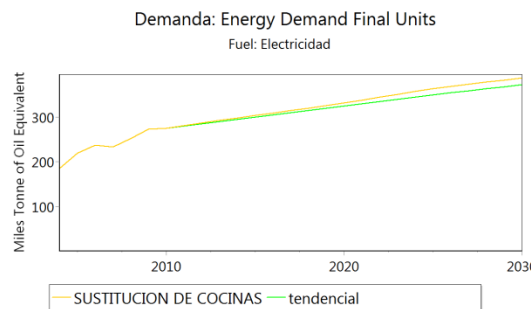


Fig.9. Comparación entre escenarios, demanda final de electricidad del sector residencial. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Demand: Energy Demand Final Units					
Fuel: Electricity					Ann Avg
Branch: Demand\RESIDENTIAL					Growth (%)
Units: Thousand Tonne of Oil Equivalent	2004	2008	2025	2030	2004-30
SUSTITUCION DE COCINAS	185,5213	251,3626	363,6524	387,4444	"2,8728%"
Tendencial	185,5213	251,3626	349,3504	372,4383	"2,7166%"
Total	371,0426	502,7252	713,0029	759,8826	"2,7955%"

Tabla 4. Unidades de Demanda de Energía Final, consumo de electricidad sector residencial. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

La reducción del consumo de leña genera beneficios adicionales como reducción de horas hombres en recolección y menor deforestación con fines energéticos. En dicho sentido, investigaciones recientes indican que existiría un ahorro efectivo de tiempo por día debido al uso de la estufa de aproximadamente 0,25 horas/día/estufa

3.3.3. ESCENARIO 2: TREN DIESEL

La segunda medida fue “incorporación del tren diesel”. Se decidió aplicar dicha medida ya que el consumo del diesel es preponderante en el sector transporte del escenario tendencial, utilizado principalmente por los camiones de larga distancia.

El consumo de diesel total del 2008 es de 960,48 kTEP de los cuales el 34,28% es utilizado por el transporte carretero de carga largas distancias, que según el escenario tendencial al año 2030 alcanzaría un consumo de camiones de larga distancia de 551,36 kTEP teniendo una participación de 35,61% para el año horizonte.

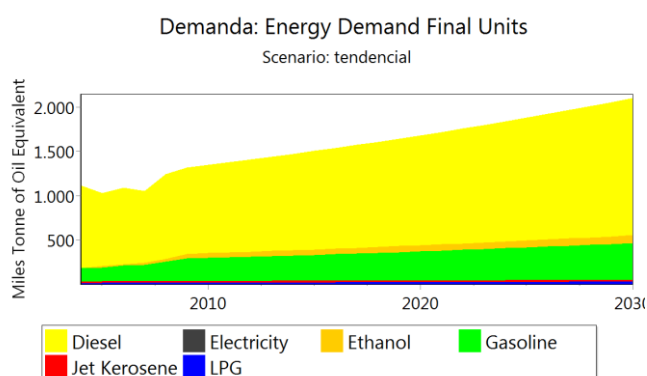


Fig.10. Escenario tendencial, demanda final de energía del sector transporte. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

En la Fig. 11 se observa que el transporte carretero camiones representa el 83,56% del consumo diesel total y su influencia para el año 2030 sería mayor en la matriz energética.

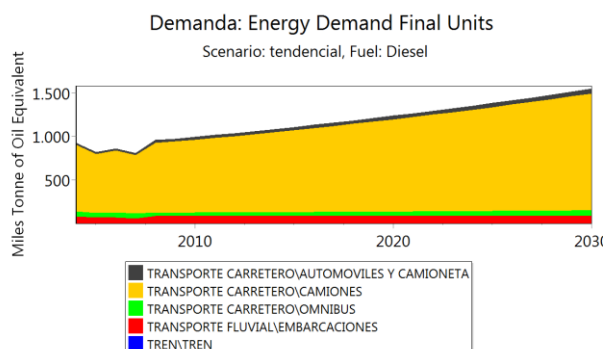


Fig.11. Escenario tendencial, participación de los subsectores del sector transporte en el consumo del diesel. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

En las emisiones de CO₂ del transporte carretero también los camiones de larga distancia que consumen diesel tienen mayor influencia.

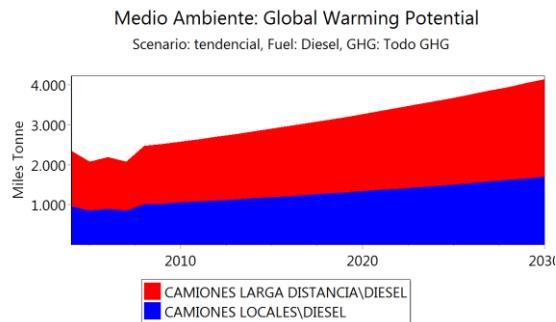


Fig.12. Escenario tendencial, emisiones de GEI del sector transporte, subsector camiones. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Con la incorporación del tren diesel se produjo una reducción del consumo del diesel de 388.750.000 litros medio anual. Los resultados más importantes de dicha incorporación se ven reflejados en los gráficos que se presentan a continuación.

En el año 2008 las emisiones de GEI alcanzan un valor de 2958.20 kTEP/CO₂equiv siendo el mayor sector que emite estos gases el de camiones larga distancia con 49,28% de participación, para el año 2030 las emisiones alcanzarían 4767,92 kTEP/CO₂equiv año en el cual el sector camiones alcanza una participación del 51,20% en la emisión de GEI del sector energético paraguayo.

En el siguiente gráfico se observa que, como consecuencia de la implementación de la medida estudiada, se produce una disminución en el consumo final de energía.

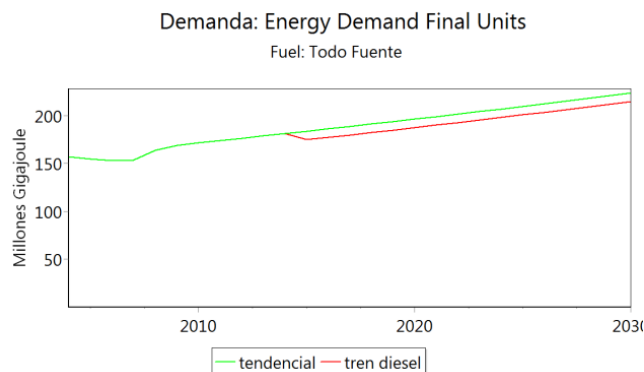


Fig.13. Comparación de escenarios, demanda final de energía. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

En la demanda final de energía se observa una reducción de 212 kTEP de diesel anuales, que para el año 2030 sería una reducción acumulada de 3180 kTEP de diesel al año horizonte.

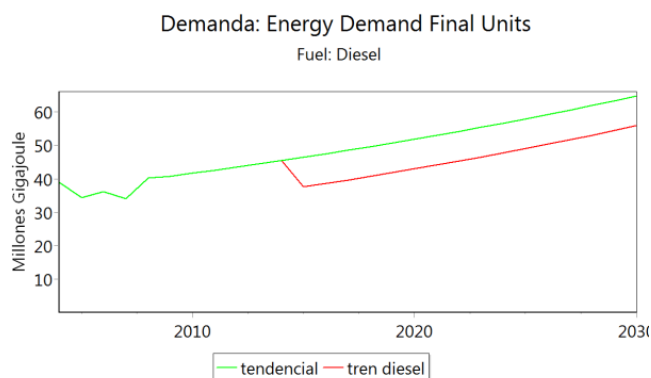


Fig.14. Comparación de escenarios, demanda final de diesel. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

La reducción de emisiones de los GEI entre otros, también representa una ventaja de la implementación de la medida aplicada, se tendrá una disminución acumulada de 10,462 miles de toneladas de CO₂ equivalente.

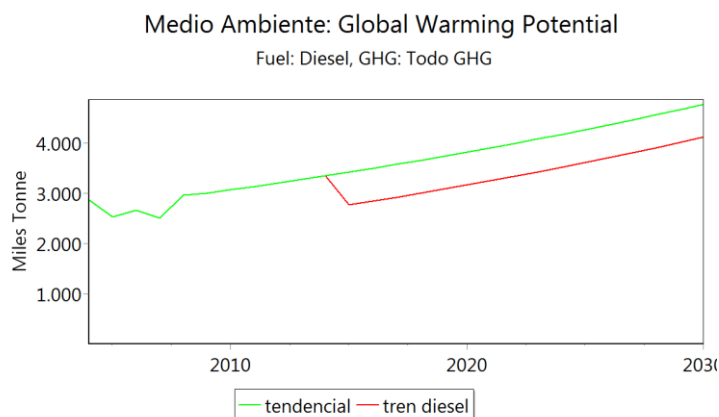


Fig.15. Comparación de escenarios, emisiones de gases de efecto invernadero debido al consumo de diesel. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

3.3.4. ESCENARIO 3: TREN ELÉCTRICO

Finalmente la tercera medida implementada fue “incorporación del tren eléctrico”, con el fin de dar una mayor participación a la energía eléctrica y para la reducción del consumo del diesel por las razones anteriormente mencionadas.

La influencia de la incorporación de dicha medida en el consumo final de energía del Paraguay se puede observar en el siguiente gráfico.

En el cual se observa una disminución anual de 342.326 kTEP anuales de diesel a partir del 2015, que acumulados al año 2030 se observa una reducción de 5,475 kTEP de diesel, y un aumento anual de 34,93 kTEP de electricidad a partir del 2015, que acumulados al año horizonte representa un aumento de electricidad acumulado de 558,89 kTEP.

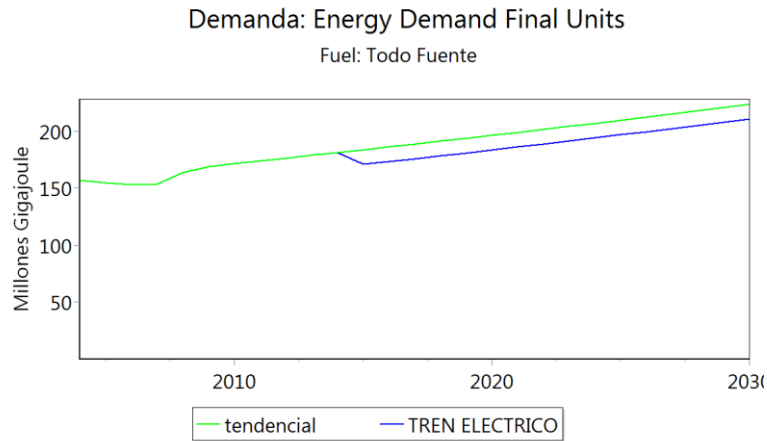


Fig.16. Comparación de escenarios, demanda final de energía. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

La disminución del consumo del diesel en el sector transporte debido a la implementación del tren eléctrico es muy significativa, conforme puede observar en el gráfico siguiente.

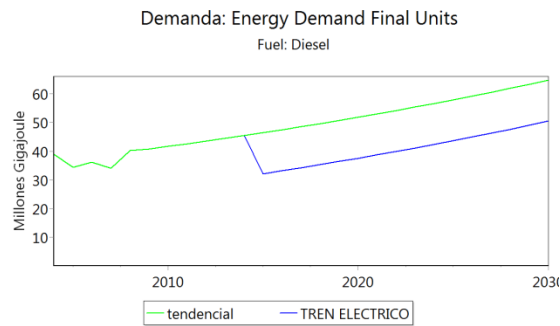


Fig.17. Comparación de escenarios, demanda final de diesel. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

La reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero entre otros, también representa una ventaja adicional de la implementación de la medida analizada. Se reducirá al año 2030 la cantidad acumulada de 16866 miles de toneladas equivalentes de CO₂.

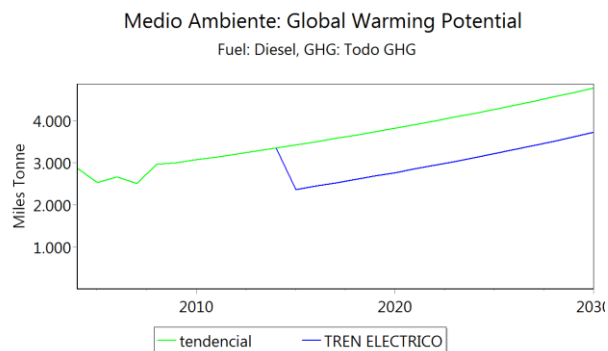


Fig.18. Comparación de escenarios, emisiones de dióxido de carbono debido a todas las fuentes de energía. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Por último presentamos la proyección de la demanda final de energía en el Paraguay, comparación entre los diferentes escenarios, el tendencial y los tres deseados.

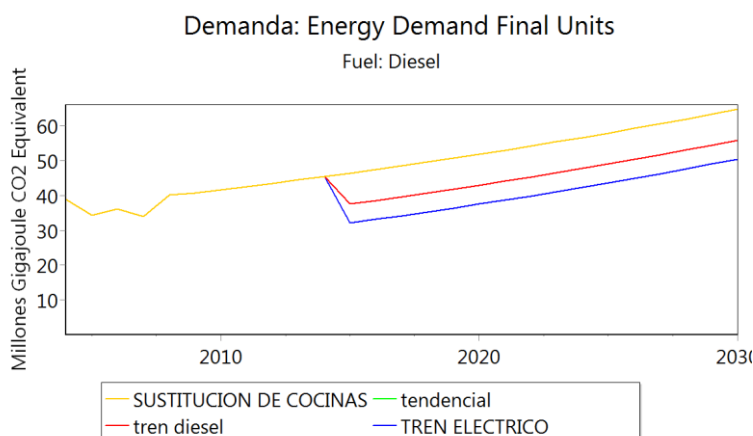


Fig.19. Comparación entre todos los escenarios, demanda final de energía. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

3.3.5. RELACIÓN COSTO/BENEFICIO

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la relación que existe entre el costo/beneficio social de los diferentes escenarios comparados con el escenario tendencial.

Cumulative Costs and Benefits: 2004-2030. Compared to Scenario: tendency.				
Million 2008 U.S. Dollar. Discounted at 10,0% to year 2008.				
Costs	REFERENCIA	SUSTITUCIÓN DE COCINAS	TREN DIESEL	TREN ELÉCTRICO
Imports	-179,5	0	-62,5	-100,7
Exports	-28,7	3,7	0	13,7
Unmet Requirements	0	0	0	0
Environmental Externalities	-91,3	0	-43,1	-69,6
Net Present Value	-299,5	3,7	-105,6	-156,6
GHG Savings (Mill Tonnes CO2 Eq)	24,8	0,2	10,5	16,9

Tabla 5. Relación costo/beneficio, comparación de los diferentes escenarios con el escenario tendencial. Fuente: elaboración propia (resultado del software LEAP©).

Estos resultados presentan la relación Costo/Beneficio con relación al escenario tendencial, los valores positivos en la fila Export representan la reducción de exportación con relación al escenario tendencial, así como los valores negativos en la fila Imports representan beneficios con relación al escenario tendencial. Todos los valores son descontados al 2008.

Para realizar el cálculo, se asumió la valorización del beneficio de exportación de electricidad en 5 US\$/Mwh y 60 US\$/m³ de diesel además de considerar el valor de reducción de 15 US\$ por tonelada de CO₂ no emitido.

4. CONCLUSIÓN

A lo largo del documento, se han presentado distintos aspectos y se realizaron varios diagnósticos del sector energético del Paraguay.

Se ha elaborado en el entorno LEAP© un modelo energético integral del Paraguay. Los escenarios fueron basados en balances integrales sobre la forma en que se consume, transforma y produce energía en el país.

El Paraguay no contaba con un modelo energético integral con una estructura de mayor desagregación como el que ha sido elaborado, con el cual pudieron aplicarse medidas más específicas dentro de los diferentes sectores de consumo de energía. Dicho modelo se pone a disposición de los diferentes actores del sector energético del Paraguay con todos los beneficios que tener este tipo de modelos proporciona.

También se han aportado diferentes medidas de eficiencia energética que pueden aplicarse para mejorar la estructura de la matriz energética de la República del Paraguay, cumpliendo así con el objetivo trazado al plantearnos la realización del mismo.

Los principales resultados son la disminución del consumo del diesel en los escenarios 2 y 3, el aumento del consumo de la electricidad y la disminución del consumo de la leña en los hogares residenciales rurales en el escenario 1, la incorporación de la electricidad en el sector transporte en el escenario 3 y en todos los escenarios se ha observado una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se ha presentado una comparación entre los costos y beneficios obtenidos de los diferentes escenarios deseados en comparación al escenario tendencial.

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

OLADE, CEPAL, GTZ. Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas. Quito: OLADE, 2000.

PULFER, Jean-Claude. Diagnóstico del sector energético en el área rural de Paraguay. Proyecto electrificación rural. Organizaciones auspiciante: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI) y Universidad de Calgary. Asunción: 2005.

ROLÓN, Juan Carlos. Situación de la Matriz Energética en Paraguay. Soluciones para el desarrollo sostenible, Recomendaciones. San Lorenzo: 2009.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE COMUNICACIONES, Vice Ministerio de Minas y Energías. “Plan Estratégico del Sector Energético de la República del Paraguay” (2004-2013). San Lorenzo: 2003.

VICE MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Estudio de País: Paraguay. Aplicación del Modelo MAED del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Proyecto Regional RLA/0/029. Primer Borrador. San Lorenzo: 2007

AGUIAR, L; BLANCO, GERARDO; BUZARQUIS, ENRIQUE. “Análisis de la Renegociación del Tratado Bilateral de la Itaipú Binacional,” In: VIII Latin American Congress on Electricity Generation & Transmission. Ubatuba: 2009.

VICE MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍAS. Eficiencia Energética en el Paraguay, Situación actual y perspectivas. Taller Intergubernamental de Eficiencia Energética. San Lorenzo: 2009

COMMEND. 2010. LEAP© software. Community for energy, environment and development. Disponible en: <http://www.energycommunity.org/>.

GARCÍA-FRAPOLLI, E., C. ARMENDÁRIZ, V. M. BERRUETA, R. D. EDWARDS, A. GUEVARA, H. RIOJAS-RODRÍGUEZ, Y O. R. MASERA. Beyond Fuelwood Savings: Valuing the Economic Benefits of Introducing Improved Biomass Cookstoves in the Purhépecha Region. Mexico: Ecological economics, 2010

6. NOTAS

¹ PULFER, Jean-Claude. Diagnóstico del sector energético en el área rural de Paraguay. Proyecto electrificación rural.

² PULFER, Jean-Claude. Diagnóstico del sector energético en el área rural de Paraguay. Proyecto electrificación rural.

³ ROLÓN, Juan Carlos. Situación de la Matriz Energética en Paraguay. Soluciones para el desarrollo sostenible, Recomendaciones.

⁴ ROLÓN, Juan Carlos. Situación de la Matriz Energética en Paraguay. Soluciones para el desarrollo sostenible, Recomendaciones.

⁵ Del manual del LEAP© en español.

⁶ Del manual del LEAP© en español

⁷ Disponible en: <http://www.energycommunity.org/>.

⁸ Disponible en: http://esa.un.org/wpp/unpp/Panel_profiles.htm

⁹ Cocinas Mirt: consta de un anillo de cemento y de una placa metálica o de arcilla, placa con un diámetro de aprox. 60 cm, en comparación con los denominados fuegos abiertos, el hornillo Mirt ahorra hasta un 50% de madera.