



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Desarrollo del modelo energético integral del Paraguay en el entorno LEAP

Segundo Javier Amatte Mereles

Estela María Riveros Rodas

Gerardo Alejandro Blanco Bogado

Grupo de Investigación en Sistemas Energéticos (GISE)

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción

Paraguay

RESUMEN

El trabajo tiene por objetivo proponer los delineamientos y las estrategias para alcanzar una estructura energética más sustentable en la República del Paraguay, basados en políticas energéticas que induzcan el incremento del nivel de penetración de las fuentes de energía hidroeléctrica y los niveles de productividad energética del país. Se llevó a cabo un estudio utilizando el software LEAP©. Los principales resultados fueron un modelo energético integral del Paraguay en dicho entorno y la formulación de medidas de sustitución energética que permiten la disminución del consumo de leña, el aumento del consumo de la electricidad y la incorporación de la electricidad en el sector transporte. Dicho modelo energético integral posteriormente podrá ser utilizado como una herramienta para la planificación energética o como base para la realización de otros estudios con énfasis diferentes al de este trabajo. Además, el análisis reveló que las medidas propuestas mejoran las características de sustentabilidad de la matriz energética nacional prevista para el año 2030.

PALABRAS CLAVES

1.Energía 2.Planificación 3.Eficiencia

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la energía del Paraguay difiere particularmente de los demás países en desarrollo, teniendo como principal característica particular a la relación existente entre la capacidad energética basada en energía hidroeléctrica y su consumo de electricidad. La abundancia de hidroenergía, fuente energética limpia y renovable, compatible con un modelo de desarrollo sostenible, debería ser la piedra angular de la política energética en el Paraguay.

No obstante, en la actualidad la matriz energética nacional posee una participación significativa de las fuentes de energía basadas en la biomasa y aun limitada penetración de otras energías, especialmente la eléctrica. Como consecuencia de la actual composición de la matriz energética aparecen debilidades específicas principalmente en el indicador de productividad [1].

A fin de promover el mejoramiento de la eficiencia del sector energético, el Paraguay debería profundizar la penetración de la electricidad en el consumo de energía final de la matriz, no tan sólo mediante la sustitución de fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles, sino también de fuentes renovables, pero de baja eficiencia, como la biomasa [2]. En el caso de nuestro país, la biomasa incluso no podría considerarse renovable por la carencia de planes de manejo forestal de bosques con fines energéticos.

El Paraguay es un país de gran potencial hidroeléctrico; sin embargo, en los últimos años ha centrado mayor atención a la creación de mejores oportunidades para la exportación de su energía, que al establecimiento de políticas de incentivos para el crecimiento económico a través del aumento del consumo eficiente de la producción eléctrica del país [3].

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 2008 resulto aproximadamente 355 veces a la registrada en el año 1970.

Sin embargo, el consumo final de la energía eléctrica no acompaña la evolución de la oferta interna bruta de hidroenergía, tal es así que el consumo de electricidad en el año 2008 fue aproximadamente solo 28 veces el registrado en 1970 [1].

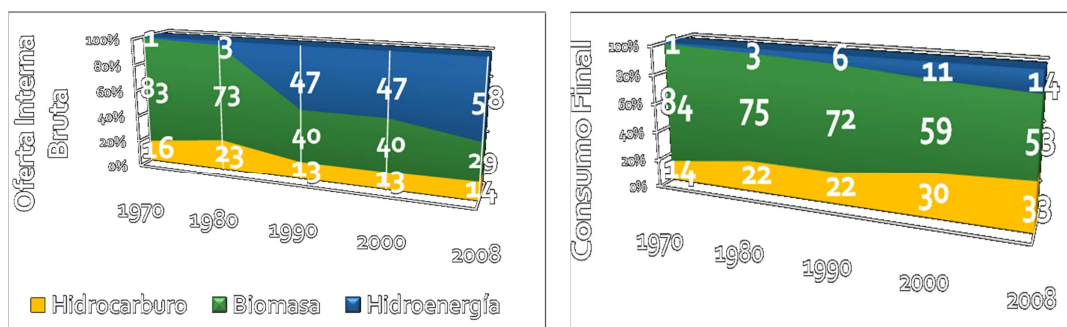


Figura 1. Evolución de la oferta interna bruta y del consumo final de energía del Paraguay. Fuente: Viceministerio de Minas y Energías.

A través de la Figura 1, se puede observar que existe un claro “desequilibrio” energético a favor de la biomasa, la misma 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.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Además en la matriz energética del 2009 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 energía eléctrica. El 52% es biomasa y el restante 34% derivados del petróleo.

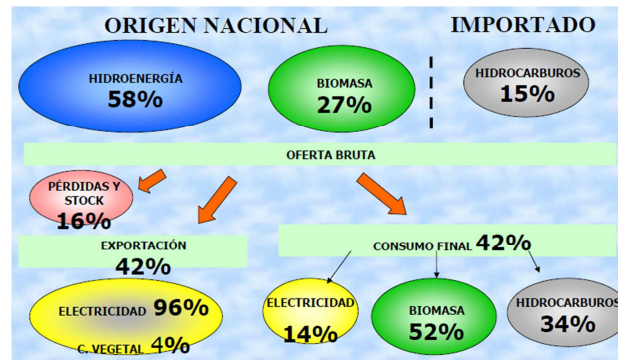


Figura 2. Estructura de la matriz energética del Paraguay del Año 2009. Fuente: Viceministerio de Minas y Energías.

Dicha estructura y composición de la matriz energética no es considerada sustentable según estudios del Viceministerio de Minas y Energía (VMME) realizados en base a la Metodología OLADE [4].

La sustentabilidad se determina mediante los indicadores de sustentabilidad, los comúnmente utilizados son: autarquía, robustez, productividad, cobertura eléctrica, cobertura de necesidades básicas, pureza ambiental, uso de energía renovables y alcance de recursos fósiles y leña [5].

Se han seleccionado tres de estos indicadores para observar su comportamiento en los diferentes escenarios, estos son la autarquía, la robustez y la productividad.

La autarquía, indica la frágil sustentabilidad económica de países importadores de energía y tiene entre sus objetivos medir el grado de dependencia de los energéticos importados e, indirectamente, la vulnerabilidad del abastecimiento energético ante cambios externos adversos (como el incremento de los precios).

La robustez, indica la vulnerabilidad en el desempeño de economías altamente dependientes de su exportación energética y tiene como objetivo medir la estabilidad, el peso y los riesgos de desequilibrio de los ingresos por exportación de energéticos en él.

La productividad, está relacionada con la dimensión económica del desarrollo, es la inversa de la intensidad energética, y tiene como objetivo fundamental medir la eficiencia productiva y energética, aunque se relaciona también con el costo de la energía en la producción y las afectaciones al medio ambiente.

En dicho contexto, el estado del arte contempla el análisis de la ejecución de políticas energéticas a través de modelos computacionales que pretenden replicar la evolución e interacción de las diversas variables que intervienen en el sector energético y económico de un país. Estos modelos deben reflejar sistemas complejos en un modo comprensible y colaborar a organizar una gran cantidad de información, proveyendo un marco contextual consistente para evaluar hipótesis o analizar impactos de actuaciones específicas en el sector de la energía. Este enfoque tiene como objetivo la captura del comportamiento de un sistema energético completo (ej.: nación, departamento, región o el mundo) [6].

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Este trabajo desarrolla un modelo energético en el entorno del software LEAP[®], enfocado especialmente a la sustitución interenergética, que sirva de herramienta para la definición de metas estratégicas a largo plazo con respecto a la estructura de la matriz energética del Paraguay, considerando el incremento del nivel de penetración de las fuentes de energía hidroeléctrica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Proponer los delineamientos y las estrategias para alcanzar una estructura energética sustentable en la República del Paraguay, basados en políticas energéticas que induzcan el incremento del nivel de penetración de las fuentes de energía hidroeléctrica y los niveles de productividad energética del país.

2.1 Objetivos específicos

- Desarrollar en el enfoque LEAP[®], un modelo energético integral del Paraguay.
- Generar un escenario tendencial de la matriz energética basado en las tendencias históricas inerciales.
- Aportar con un modelo energético integral adecuado que posteriormente pueda ser utilizado como base para la realización de otros estudios con énfasis diferentes al de este trabajo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El método utilizado para esta investigación fue, en primer lugar la observación de la situación actual de la energía en Paraguay, para lograrlo 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. Fue necesario visitar el Vice Ministerio de Minas y Energías (VMME), la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), la Dirección Nacional del Transporte (DINATRAN), la Dirección del Registro del Automotor, la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censo (DGEEC), la Dirección General de la Marina Mercante, al Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y al Viceministerio del Transporte.

Igualmente se recurrió a la revisión bibliográfica para complementar el trabajo de investigación. Fueron relevados datos estadísticos y estudios a partir de documentaciones referidas a la Encuesta Permanente de Hogares, el Censo del 2002, el Censo Económico, entre otros. Para el procedimiento de recolección se utilizó el método de observación y las entrevistas.

Como segundo paso, se realizó un análisis que corresponde al: desarrollo en el enfoque LEAP[®] de un modelo energético integral del Paraguay, en el que pudo representarse la forma en que se consume, convierte y produce energía en el país. En base a lo mencionado se generó un escenario tendencial para observar la evolución de la matriz energética basado en las tendencias históricas inerciales y se propusieron y evaluaron las posibles estrategias o medidas a aplicar para inducir el aumento del consumo de energía eléctrica en sustitución parcial de los hidrocarburos y la biomasa (escenarios deseados).

Dichas medidas de planificación actúan sobre la intensidad energética y participaciones que tiene cada tipo de sector mediante la implementación de políticas de eficiencia energética.

Los resultados de demanda, transformación, importación, exportación proporcionados por el modelo fueron comparados con los datos de los balances energéticos elaborados por el VMME, obteniendo resultados óptimos desde el año 2004 al 2009.

El software utilizado fue el LEAP©, con la capacidad de brindar un soporte integrado y confiable, para el desarrollo de estudios de planeamiento energético [7].

4. RESULTADOS

4.1 Modelo energético integral en el entorno LEAP©

Los modelos energéticos en el entorno LEAP© tienen una estructura arborescente, donde los módulos principales son el de la demanda y transformación de energía.

En la Figura puede observarse la estructura del módulo de demanda de energía que hemos elaborado, el mismo fue dividido en los diferentes sectores de consumo de energía del país.

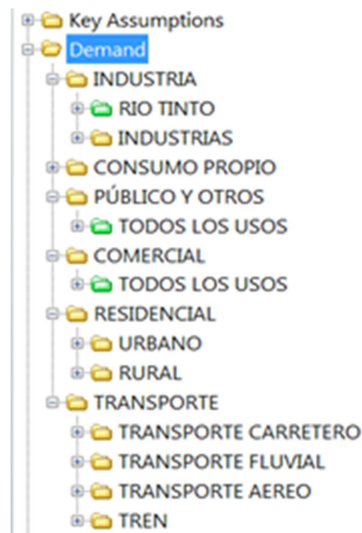


Figura 3. Estructura de la rama de demanda de energía. Fuente: Por los autores, interfaz gráfica del software LEAP©

La estructura del módulo de transformación de energía puede observarse en la siguiente Figura, fue desglosado en los diferentes procesos utilizados en el país para transformar la energía, además de incluir la energía hidroeléctrica no aprovechada, el consumo propio de electricidad y las pérdidas en transformación y distribución.

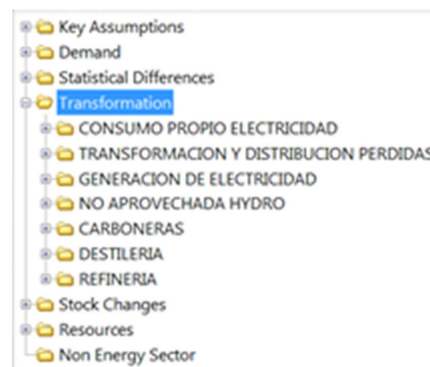


Figura 4. Estructura de la rama de transformación. Fuente: Por los autores, interfaz gráfica del software LEAP©

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Una vez terminado y validado el modelo energético integral del Paraguay se procedió al análisis de prospectiva energética.

4.2 Análisis de prospectiva energética

4.2.1 Escenario tendencial

El escenario tendencial se basó en una proyección lineal en base a datos históricos de consumo y sus tendencias. Los resultados pueden observarse en la figura siguiente, expresados en MTEP.

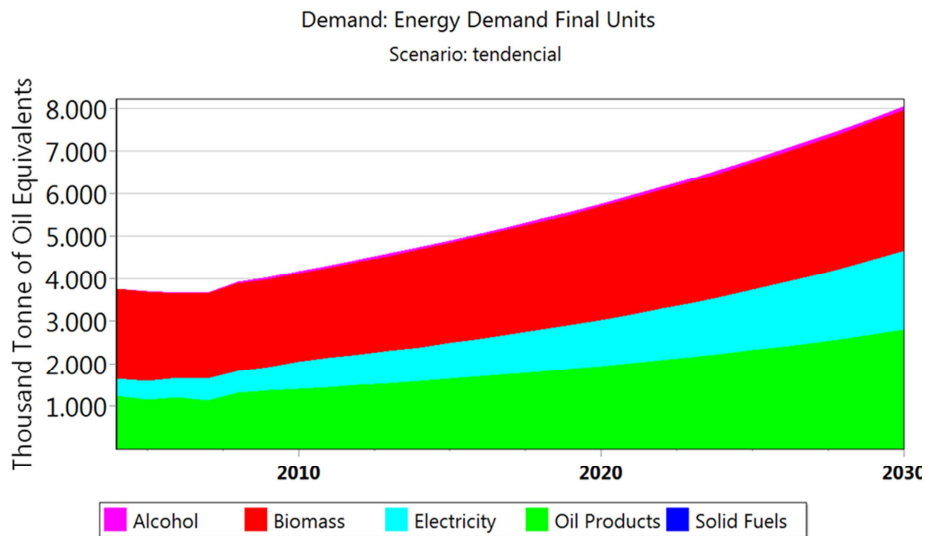


Figura 5. Evolución de la demanda final de energía, escenario tendencial. Fuente: Por los autores, interfaz gráfica del software LEAP©

Si las tendencias actuales en el consumo de energía se mantienen. La evolución de la matriz energética del Paraguay para los años 2005, 2010, 2020 y 2030 del escenario tendencial se exponen en la siguiente Figura.

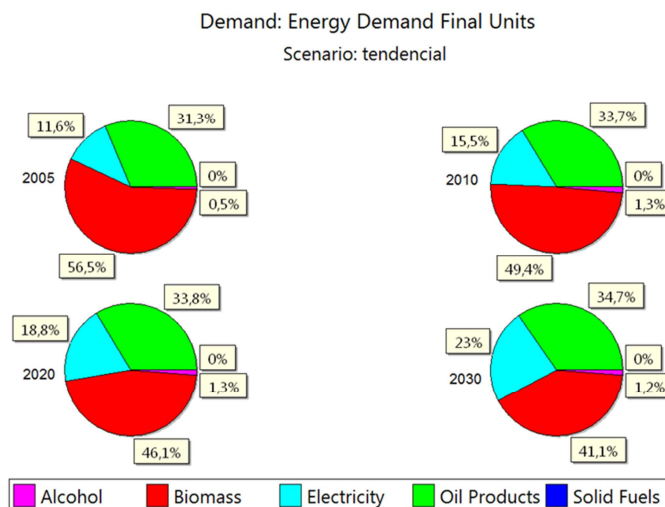


Figura 6. Matriz energética del Paraguay de los años 2005, 2010, 2020 y 2030 del escenario tendencial. Fuente: Por los autores, interfaz gráfica del software LEAP©

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

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 mejorarían 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.

4.2.2 Escenario deseado uno: sustitución por cocinas más eficientes

Se decidió aplicar dicha medida ya que el sector residencial rural es uno de los mayores consumidores de leña con una participación del 37,75% del consumo total de leña del año 2009, y según el escenario tendencial llegaría a tener una participación de 41,9% en el año 2030, la fuente leña empleada en el sector residencial rural se utiliza principalmente para la cocción de alimentos y el calentamiento de agua.

Con la aplicación de esta medida, se logró una disminución en la demanda final de energía del sector residencial de 406,52 miles de toneladas equivalentes de petróleo (MTEP), acumulados al año 2030. La reducción en la demanda de la leña, para satisfacer las necesidades energéticas del sector residencial rural, será de 574,34 MTEP acumulada al año 2030, también se tendrá un aumento en el consumo de electricidad en el sector residencial rural de 167,82 MTEP acumulados al año 2030.

4.2.3 Escenario deseado dos: tren bioceánico con locomotora a diesel

Se decidió aplicar dicha medida atendiendo que el consumo del diesel es preponderante en el sector transporte del escenario tendencial, utilizado principalmente por los camiones de carga de larga distancia. El consumo de dichos camiones alcanzaría para el año 2030 un consumo de diesel de 551,36 MTEP, teniendo una participación en el consumo del diesel del transporte carretero del 51,2% para ese año.

Haciendo una comparación entre el sector transporte del escenario tendencial y el escenario deseado dos, la cantidad que se ahorraría en la demanda final de energía del sector transporte sería de 3.396 MTEP, acumulados al año 2030.

4.2.4 Escenario deseado tres: tren bioceánico con locomotora eléctrica

La medida para este escenario fue aplicada por las mismas razones que el escenario deseado dos, el cambio se dio en la tecnología que utilizará la locomotora, en vez de consumir diesel consumirá electricidad. El consumo del tren se mantiene constante en el horizonte de análisis.

Una vez implementada la medida de sustitución planteada en este escenario habrá un aumento en el consumo de electricidad de 558 MTEP, además, una disminución en el consumo del diesel del sector transporte de 5.475MTEP, ambos en comparación al escenario tendencial desde el año 2015 al año 2030.

4.2.5 Escenario deseado cuatro: Rio Tinto Alcan

Este escenario tiene como objetivo principal observar la influencia de la implementación de una industria electrointensiva en el sistema energético total. Además en este escenario se considero la puesta en marcha de la hidroeléctrica Corpus.

Para el año 2030, en el escenario tendencial la participación de la electricidad en el consumo total de energía del sector industria sería del 23%. Con la inclusión del proyecto Rio Tinto Alcan la participación sería de 29,2%. Este resultado revela la magnitud del proyecto considerando que con la inclusión de tan solo una industria electrointensiva el aumento en el consumo de electricidad es de 6,2%.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

4.2.6 Escenario deseado cinco: sustitución por cocinas eficientes + tren bioceánico con locomotora eléctrica

En este nuevo escenario se observa la influencia en la demanda de energía al aplicar estas dos medidas en simultáneo. La influencia sobre el sector residencial es la misma que en el escenario deseado uno y la influencia sobre el sector transporte es igual a la del escenario deseado tres.

En este escenario para el año 2030 se tendría un aumento en la demanda final de electricidad de 49,93 MTEP, una disminución en la demanda de biomasa de 50,64 MTEP y en la demanda de productos derivados del petróleo de 342,23 MTEP, todo esto en comparación a la demanda final de energía del escenario tendencial.

4.3 Indicadores de sustentabilidad

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de los diferentes escenarios de tres de los indicadores citados anteriormente, la autarquía, la robustez y la productividad.

En la Tabla I se comparan los valores obtenidos para la autarquía.

Tabla I. Autarquía, comparación de los diferentes escenarios.

AUTARQUIA		
Escenario	Año 2009	Año 2030
Tendencial	84%	71.58%
Sustitución por cocina		71,44%
Tren Diesel		73,72%
Tren Eléctrico		75.02%
Rio Tinto Alcan		71,13%
Sust. + Tren Eléctrico		74,9%

Como el Paraguay es un importador neto de productos derivados del petróleo, el indicador de autarquía está bastante relacionado con este grupo de fuentes de energía.

Los beneficios de la disminución del consumo del diesel con la implementación del tren, en los diferentes escenarios que lo incluyen, representan un aumento favorable en la autarquía, teniendo el escenario con tren eléctrico un mayor beneficio en el aumento de dicho indicador.

En la Tabla II se comparan los valores obtenidos para la robustez.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Tabla II. Robustez, comparación de los diferentes escenarios.

ROBUSTEZ		
Escenario	Año 2009	Año 2030
Tendencial	84,72%	98.56%
Sustitución por cocinas		98.62%
Tren diesel		98.56%
Tren Eléctrico		98.69%
Rio Tinto Alcan		99.03%
Sust. + Tren Eléctrico		98.75%

Al ser el Paraguay un país que tiene un alto porcentaje de exportación de energía eléctrica, la participación de este tipo de energía es la que mayor influencia tiene sobre este indicador. Los valores de consumo de electricidad que aumentan con los escenarios que incluyen el tren eléctrico, el escenario sustitución de cocinas y la electrointensiva Rio Tinto Alcan influyen en mayor o menor grado en el saldo exportable de electricidad y por tanto sobre el indicador de robustez. La introducción del tren eléctrico y Rio Tinto Alcan tiene un mayor valor de consumo, situación que es apreciada en el aumento del presente indicador.

En la Tabla III se comparan los valores obtenidos para la productividad.

Tabla III. Productividad, comparación de los diferentes escenarios.

PRODUCTIVIDAD		
Escenario	Año 2009	Año 2030
Tendencial	33.33%	36.56%
Sustitución por Cocinas		36.73%
Tren Diesel		37.56%
Tren Eléctrico		38.05%
RioTinto Alcan		32.02%
Sust. + Tren Eléctrico		38.19%

Es en el indicador de productividad donde el Paraguay tiene mayor deficiencia y sería uno de los indicadores donde se debe buscar el mayor de los aumentos posibles. En el escenario tendencial no se tiene previsto una mejora en la intensidad energética lo cual unido con un aumento de la demanda resulta una disminución de dicho indicador para el año 2030 con respecto al año 2009. El incremento de consumo de energía es mayor al incremento del PBI. Al aplicar las medidas energéticas se obtiene una mejora de la productividad, en donde una vez más la inclusión del tren eléctrico es la medida que presenta una mejora más significativa en relación a las demás medidas. Esta mejora está vinculada con la mejora de eficiencia en la fuente de energía utilizada.

5. DISCUSIÓN

En base a los resultados del modelo energético integral elaborado y a los diferentes escenarios mencionados anteriormente observamos que el escenario tendencial presenta un horizonte no favorable desde el punto de vista energético.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

El escenario que presento una mayor disminución en el consumo energético y un mejor panorama para los indicadores de sustentabilidad es el escenario 5. Las características principales de este escenario son la sustitución de fuentes de energía menos eficientes, en este caso el diesel y la biomasa, por la electricidad.

Los escenarios presentan beneficios a mediano y largo plazo, se identifico que existe una situación preocupante y que el momento de aplicar medidas es ahora, ya que a medida que se siga con este comportamiento serán necesarias medidas mucho más profundas y difíciles de efectuar.

6. CONCLUSIONES

- Se ha elaborado en el entorno LEAP un modelo energético integral del Paraguay, para la formulación y análisis de políticas energéticas, que posteriormente podrá ser utilizado como base para la realización de otros estudios con énfasis diferentes al de este trabajo.
- 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 trabajo. Los principales resultados de la aplicación de dichas medidas son la disminución del consumo del diesel en los escenarios 2, 3 y 5, el aumento del consumo de la electricidad y la disminución del consumo de la leña en los hogares residenciales rurales en el escenario 1 y 5, la incorporación de la electricidad en el sector transporte en el escenario 3, el aumento del consumo de la electricidad en el escenario 4 mediante la incorporación de una industria electrointensiva.
- Mediante los análisis realizados quedó en evidencia, y por tanto concluimos, que al Paraguay le conviene en los diferentes aspectos, antes que aumentar su exportación de energía eléctrica: consumirla dentro del país, en sustitución parcial de los productos derivados del petróleo, la biomasa y sus derivados.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Rolón, “Situación de la Matriz Energética en Paraguay. Soluciones para el desarrollo sostenible, Recomendaciones”, Disertación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay, 2009.
- [2] Estudio de País: Paraguay. Aplicación del Modelo MAED del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Proyecto Regional RLA/0/029 Borrador. Vice Ministerio de Minas y Energía, Paraguay, 2007, página 1-79
- [3] L. Aguiar, G. Blanco, E. Buzarquis, 2009. “Análisis de la Renegociación del Tratado Bilateral de la Itaipú Binacional,” In: VIII Latin American Congress on Electricity Generation & Transmission, Ubatuba, Brazil. Páginas 1-10
- [4] Generación, energías renovables y eficiencia energética en Paraguay, Viceministerio de Minas y Energías, Paraguay, 2010, Página 1-48
- [5] OLADE, CEPAL, GTZ, Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe, Guía para la formulación de políticas energéticas. 1º Ed. Quito, Ecuador: OLADE, 2003 pág. 231
- [6] Modelos Integrados de Energía y Medio Ambiente. Instituto de Economía Energética / Fundación Bariloche, Argentina, 2010
- [7] Manual del usuario para la versión 2004 del LEAP©. Fundacion Bariloche, Stockholm Environment Institute, 2004, páginas 1- 160