



## **Evaluación de Medidas de Eficiencia Energética en el Transporte de Carga Terrestre del Paraguay**

**Manuel Olmedo, Gerardo Blanco, Estela Riveros, Félix Fernández, Diana Valdez**

**Grupo de Investigación en Sistemas Energéticos, Facultad Politécnica - UNA**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

El Paraguay es un país por excelencia agropecuario, entre sus principales productos se encuentran: la soja, el maíz, el arroz, la carne vacuna entre otros. La mayor parte de la producción de soja es destinada a exportación, colocando al Paraguay en el cuarto lugar como exportador de soja a nivel mundial [1]. La gran mayoría de la producción nacional de soja, así como la producción de los demás rubros, es transportada vía terrestre mediante camiones que por lo general tienen como destino el departamento Central [2], para su posterior comercialización, ya sea interna o externa. Según el Plan Nacional de Logística, elaborado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) en conjunto con el Ministerio de Industria y Comercio (MIC), la producción nacional mantendrá una tendencia en aumento para los próximos años. Así, para el año 2030 se estima una producción total de alrededor de 157 mil millones de toneladas [3], lo que se traduce en un aumento en el consumo de energía para el área de transporte de carga. Actualmente, para abastecer al sector transporte, la fuente de energía es totalmente importada (derivados del petróleo), mayormente Diésel [4]. En base a esto, podemos decir que dicho consumo de energía generaría diversos problemas, como ser: un alto consumo de Diésel (fuente importada), lo que conllevaría a una mayor contaminación ambiental (emisiones de CO<sub>2</sub>), asimismo un deterioro acelerado de las rutas, y un mayor congestionamiento de las mismas.

Por otra parte, la estrategia del sector transporte ha evolucionado hacia una toma de conciencia energética y ambiental. Es por ello que la eficiencia energética es un concepto que se ha instalado con mayor fuerza en la agenda del mencionado sector en los últimos años. En ese sentido, este trabajo propone la evaluación de medidas de eficiencia energética y sustitución de fuentes de energía para el transporte de carga. Particularmente, se analiza la sustitución de camiones por trenes eléctricos. Dicha propuesta de sustitución se basa en el hecho de que el Paraguay cuenta con una gran oferta interna bruta de hidroenergía, de manera a ir disminuyendo la dependencia con relación a la importación del Diésel.

### **PALABRAS CLAVES**

Demanda de energía, transporte de carga, eficiencia energética, ahorro de energía.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVOS GENERALES

Este trabajo propone la evaluación de medidas de eficiencia energética asignativa y sustitución de fuentes de energía para el transporte de carga. Particularmente, se analiza la sustitución de camiones por trenes eléctricos. Dicha propuesta de sustitución se basa en el hecho de que el Paraguay cuenta aún con una gran oferta interna bruta de hidroenergía. La medida busca ir disminuyendo la dependencia con relación al consumo, y por ende, la importación del Diésel.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desarrollar en el programa LEAP una matriz energética del Paraguay.
- Evaluar el impacto en el consumo del sector transporte, realizando un cambio en la fuente energética.
- Proponer el uso en el sector transporte de fuentes de energías más nobles con el ambiente y de mayor producción en el país.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha desarrollado un modelo que representa al sector energético nacional, basado en el Balance Energético, elaborado por el Vice Ministerio de Minas y Energía, donde se estructura la Energía Primaria y Secundaria con sus Centros de Transformación y Demanda[5]. Los datos han sido tomados del Balance de Energía Útil de la república del Paraguay del año 2011, se tomó como año base al 2011, por ser un año donde se dispone de mayor información.

El software seleccionado, Figura 1, es el *Long-range Energy Alternatives Planing System* (LEAP©). Es una herramienta para modelar escenarios energéticos y ambientales [6].



Figura 1: Logo del Software LEAP© [1].

### 2.1 HIPOTESIS CONSIDERADAS

En la elaboración del modelo, se prestó especial atención a la demanda final del sector transporte, considerando que este sector es donde se efectúa la evaluación de medidas de eficiencia energética y sustitución de fuentes de energía para el transporte de carga.

La rama de demanda del sector transporte fue elaborada en base a la desagregación propuesta en el Proyecto “Balance de Energía Útil de la República del Paraguay”, elaborado por el Parque Tecnológico Itaipú (PTI) [4].

## 2.2 ANÁLISIS DE PROSPECTIVA ENERGÉTICA

En el estudio de prospectiva de la matriz energética de la República del Paraguay, se proyectaron tres escenarios donde se analizó el transporte de carga, específicamente el tracto camión. Los escenarios se diferencian por el tipo de tecnología y fuente energética para el transporte de carga de la producción nacional.

### 2.2.1 ESCENARIO TENDENCIAL:

En el escenario tendencial no se ha tenido en cuenta ningún tipo de eficiencia o sustitución energética en el consumo, lo que representa un aumento de la demanda, así como también del parque vehicular nacional.

### 2.2.2 ESCENARIO TREN DIESEL

En el escenario Tren Diésel se consideró tramos el trayecto del tren, según tramos propuestos y los departamentos productores de granos afectados. Los tramos propuestos se pueden observar en la Figura 2.

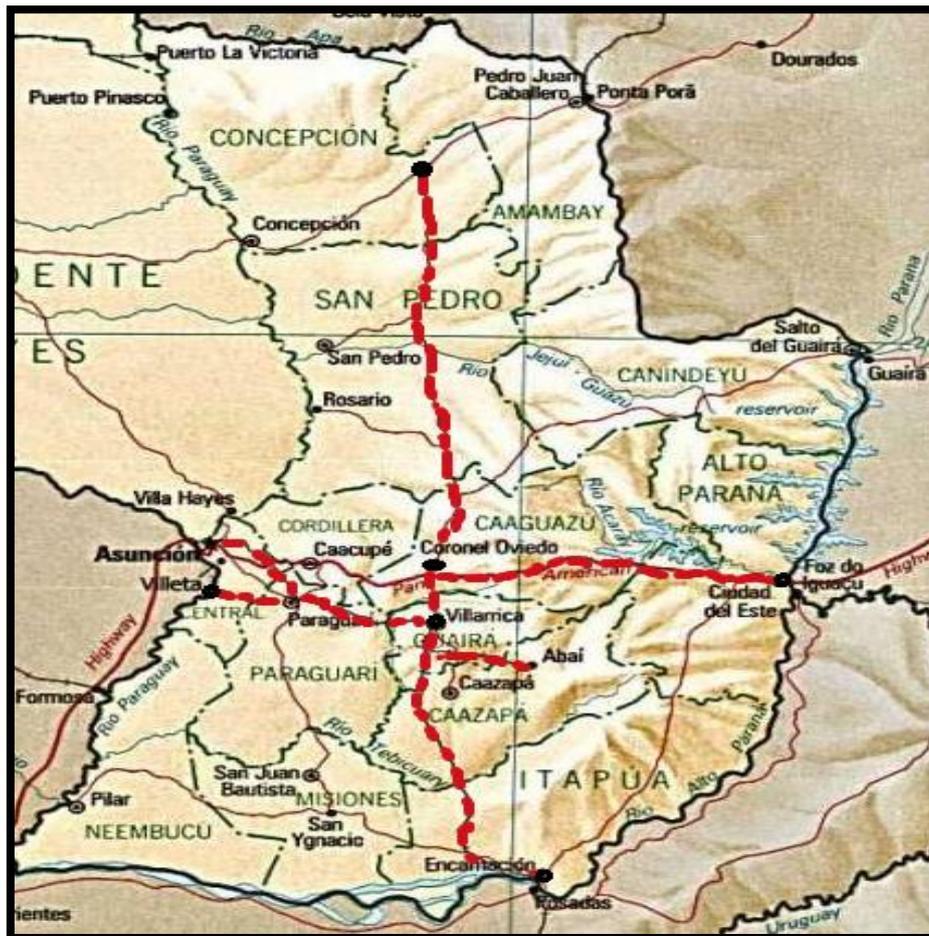


Figura 2: Tramos propuestos.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

El punto de convergencia de todos los tramos propuestos es la ciudad de Villarrica, y el punto de llegada final es la ciudad de Villeta (punto de conexión con el transporte fluvial).

El tramo Norte se considera desde la intersección entre la ruta 3 y la ruta 5 en la ciudad de Yby Yau. El tramo continua siguiendo la dirección sur hasta la intersección entre la ruta 3 y la ruta 8, posteriormente recorriendo la ruta 8 hasta la ciudad de Villarrica. Desde allí llega a Paraguarí a través de la franja de dominio de FEPASA [7], finalizando en la ciudad de Villeta.

El tramo Este considera todo el recorrido de la ruta 7, continuando desde la ciudad de Coronel Oviedo por la ruta 8 hasta la ciudad de Villarrica, posteriormente siguiendo con el mismo trayecto que se consideró en el tramo Norte, culminando en Villeta.

El tramo Sur recorre la franja de dominio desde la ciudad de Encarnación hasta la ciudad de Paraguarí, continuando hasta Villeta, con el mismo tramo considerado en el tramo Norte entre las dos ciudades.

Los departamentos que afectan dichos tramos son: Concepción, San Pedro, Guaira, Caaguazú, Caazapá, Itapúa, Paraguarí, Alto Paraná, Central.

La producción en estos departamentos es de aproximadamente el 72% de toda la producción del país. Se considera que el resto de la producción (28%) seguiría siendo transportada en Tracto Camiones, en el presente trabajo se considera que el tren sustituiría a una porción de los Tracto Camiones que anteriormente transportaba el 72% de la producción.

Dicha sustitución se considera que entrara en vigencia en el año 2018.

### 2.2.3 ESCENARIO TREN ELECTRICO

En el escenario Tren Eléctrico se tuvieron en cuenta las mismas consideraciones que en el escenario Tren Diésel con respecto al recorrido, además del porcentaje de la producción nacional que se estaría transportando.

En este caso, el tipo de forma de energía se sustituye por Electricidad. Así como en el escenario Tren Diésel, el Tren Eléctrico estaría sustituyendo a un sector de los Tracto Camiones, es decir, al 72% de la producción transportada.

El año de entrada de dicho escenario es en el año 2018.

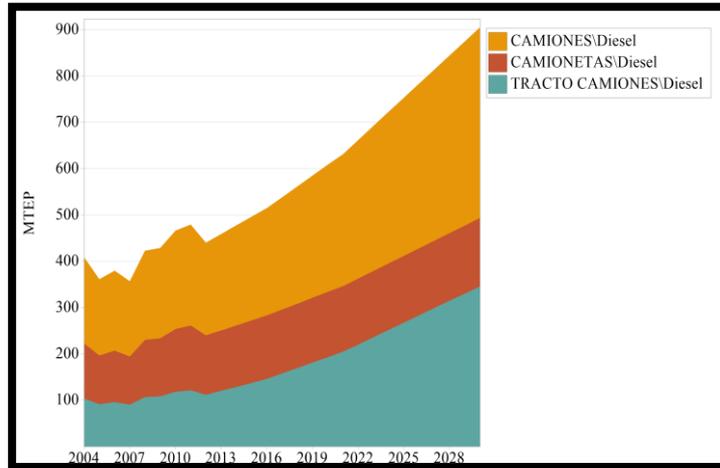
### 2.2.4 Variables Conducentes

Las variables conducentes que se utiliza en el sector transporte de carga son la cantidad de vehículos utilizados para tal efecto y la producción nacional (en toneladas).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el Escenario Tendencial, el trabajo se ha enfocado en el consumo de la rama Transporte Carretero de Carga, en el que se ha observado que existe una tendencia de crecimiento en el consumo de todas las fuentes de energía. Este comportamiento se puede observar en la Figura 3.

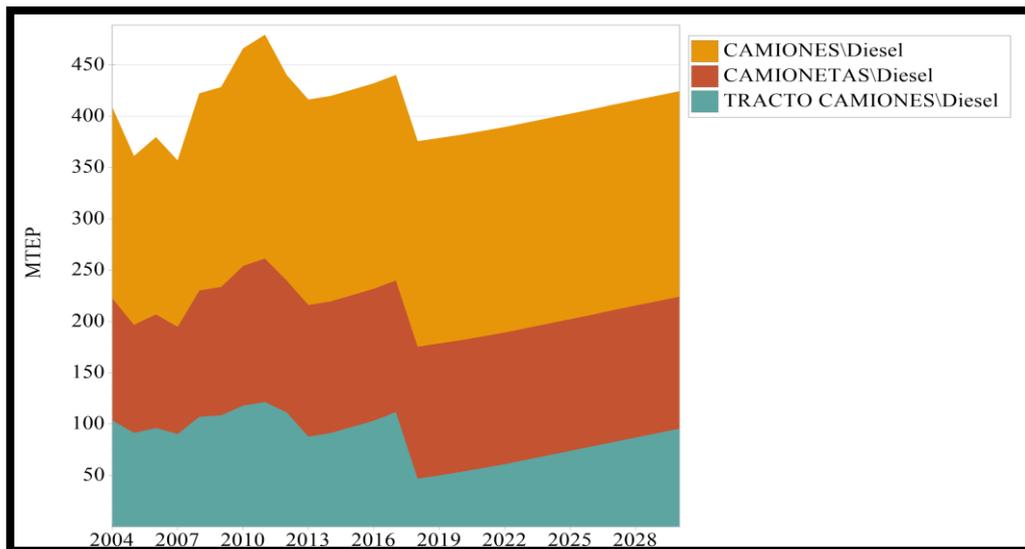
XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016



**Figura 3: Consumo de combustible, de la Rama Carretero-Transporte de Carga.**

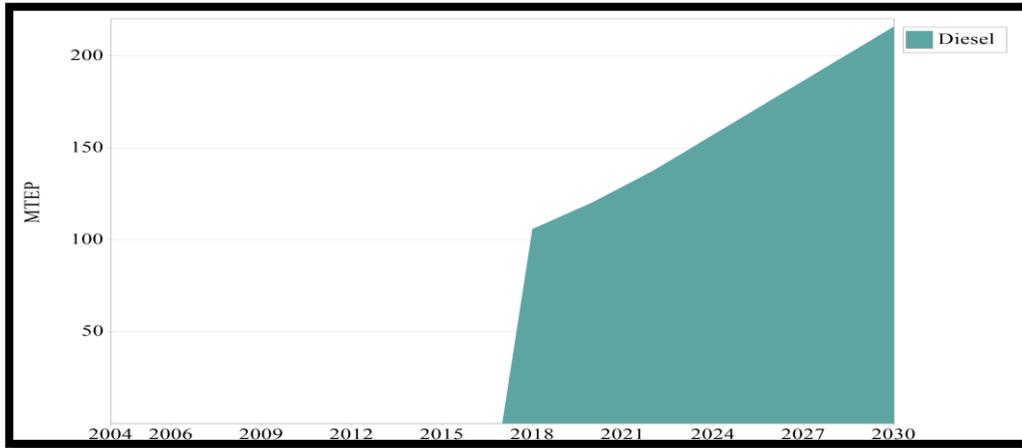
Como podemos observar en la Figura 3, para el año 2030 el consumo del Diésel en el sector transporte de carga, en especial el de Tracto Camión es de 345,902 MTEP, que nos da un equivalente de 399 millones de litros de Diésel aproximadamente.

Para el Escenario Tren Diésel, el tren estaría transportando el 72% de la producción nacional y el resto seguiría siendo transportado por los Tracto Camiones. Se puede observar en la Figura 4, que el consumo del transporte de carga de los Tracto Camiones (28% de la producción nacional), tiene un notable descenso; además, en la Figura 5 se puede ver el consumo del transporte de carga correspondiente al Tren Diésel (72% de la producción nacional). Así, la sumatoria de estos consumos resulta en 311,473 MTEP para el año 2030, este consumo equivale a 359 millones de Litros de Diésel aproximadamente. Con esto, obtenemos un ahorro en el consumo de Diésel en comparación con el Escenario Tendencial. Este ahorro es de 34,429 MTEP para el año 2030, lo que equivale a 40 millones de Litros de Diésel aproximadamente.



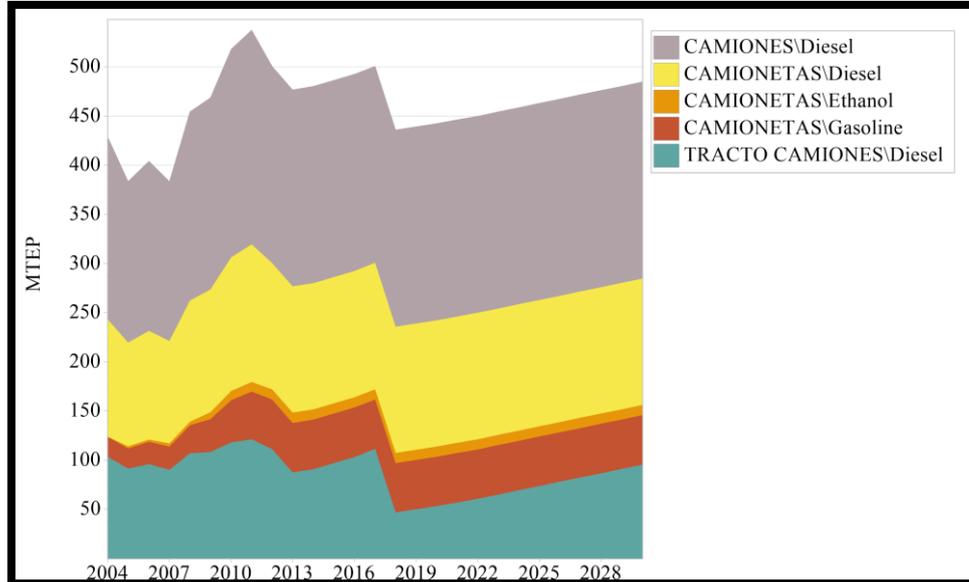
**Figura 4: Consumo de combustible, Rama Carretero-Transporte de Carga, escenario tendencial.**

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016



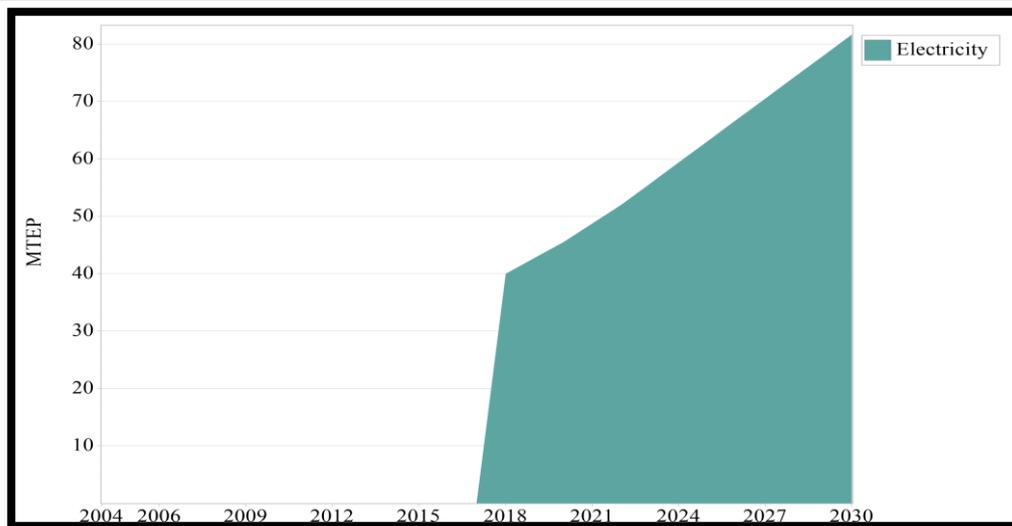
**Figura 5: Consumo de diésel del sector transporte, rama Ferroviaria, escenario tren diésel.**

Para el Escenario Tren Eléctrico, existe una similitud con relación al Escenario Tren Diésel, la variación planteada se refiere a la fuente de energía utilizada, es decir, la Electricidad. En la Figura 6 se observa el consumo de Diésel de los Tracto Camiones. Asimismo, en la Figura 7 se observa el consumo de Electricidad de la rama Ferroviaria.



**Figura 6: Consumo de la Rama Carretero-Transporte de Carga, por fuentes, escenario tren eléctrico.**

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016



**Figura 7: Consumo de Electricidad, rama Ferroviaria, escenario tren eléctrico.**

Por último, se puede observar que el consumo de Diésel para el transporte de carga, específicamente en la rama de Tracto Camiones es de 95,515 MTEP para el año 2030, esto resulta en un equivalente de 110 millones de litros de Diésel aproximadamente. Por su parte, el consumo del tren Eléctrico sería de 81,635 MTEP. Finalmente, si se implementa el Tren Eléctrico se tendría un ahorro para el sector transporte de carga en la rama de tracto camión de alrededor de 250 MTEP, para el año 2030, y esto sería equivalente a unos 289 millones de litros de Diésel.

#### 4. RELACION COSTO BENEFICIO

Comparando los diferentes escenarios con el escenario tendencial se obtiene la siguiente Tabla I.

**Tabla I: Costos y Beneficios Acumulados**

Costos Beneficios Acumulados 2011-2030.Comparados con el Escenario Tendencial		
En Millones de Dólares EE.UU.2016.Con una tasa de descuento del 10%		
	Tren Diésel	Tren Eléctrico
Por dejar de importar Diésel	1981,1	2264,2
Por dejar de exportar Electricidad		-54,4
Valor Presente Neto	1981,1	2209,8

Estos resultados presentan la relación Costo/Beneficio con relación al escenario tendencial, los valores negativos en la fila exportar representa la reducción de exportación de electricidad con relación en el escenario tendencial, así como los valores positivos en la fila importar representa beneficios con relación al escenario tendencial, por la reducción de la importación del diésel. Todos los valores son descontados al 2016.



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

Para realizar el cálculo se asumió la valorización del beneficio de exportación de electricidad en 9 USD/MWh [8], y 283 USD/m<sup>3</sup> de diésel [9]. Tomando la relación Dólares - Guaraníes de 5929 guaraníes [10].

## 5. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la matriz energética del Paraguay y los escenarios propuestos en el software leap se pudo identificar los diferentes puntos de consumo de los combustibles derivados del petróleo, como también la cantidad de consumo.

Se propone sustituir, en el sector transporte de carga la rama del sector tracto camiones por trenes eléctricos, en donde se tendría un ahorro importante en la importación de los derivados del petróleo, ya que la energía eléctrica es más noble con el medio ambiente y de gran producción nacional.

Se obtendría una reducción del deterioro y del congestionamiento de algunas rutas del país, ya que se reduciría la cantidad de tracto camiones que transitan sobre ellas. A su vez, las emisiones de gases de efecto Invernadero debido a los camiones, se reduciría.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] The Atlas of Economic Complexity," Center for International Development at Harvard University, disponible en <http://www.atlas.cid.harvard.edu>
- [2] Plan Maestro de Transporte. Hecho por el MOPC.
- [3] Plan Nacional de Logística. Hecho por en MOPC en conjunto con el MIC.
- [4] Parque Tecnológico Itaipu (PTI). Balance de Energía Útil de la República del Paraguay (BENEU).
- [5] Vice Ministerio de Minas y Energía. Balance Energético de la República del Paraguay. 2004 al 2011. Asunción. Paraguay. 2004 al 2011.
- [6] COMMEND. LEAP© software. Community for energy, environment and development. Stockholm Environment Institute –U.S. Center. Disponible en: <http://www.energycommunity.org/>
- [7] Ferrocarriles del Paraguay S.A. (FEPASA).
- [8] Administración Nacional de Electricidad.
- [9] PETROPAR
- [10] ABC Color ( <http://www.abc.com.py/edición-impresión/economía/pgn-2017-preve-crecimiento-del-33-y-dólar-a-g-5929-1487053.html>)
- [11] FUNDACIÓN BARILOCHE. (2004). Manual del Usuario.
- [12] Dirección General de Encuestas, Estadísticas y Censos. Anuario, Encuestas Municipales. Fernando de la Mora. Paraguay, 2004 al 2010.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**25 y 26 de Agosto de 2016**

---

- [13] Vice Ministerio de Minas y Energía.
- [14] N. Di Sbroiavacca. H. Dubrovsky. Metodología y prospectiva a partir de escenarios energéticos (2008-2030) realizados con el modelo LEAP: El caso de PARAGUAY. Departamento de Proyectos. Julio 2011. Naciones Unidas. CEPAL
- [15] Vice Ministerio de Transporte.