

CUADERNOS DE  
COYUNTURA

plataforma



energética

17

Publicación de la Plataforma Energética • Año VII • La Paz, diciembre de 2017 • N°



**Proyectos de mejoramiento  
de la capacidad energética**

# Proyectos de mejoramiento de la capacidad energética

**Contenido:**

Simulación de la sustitución de energía eléctrica tradicional por energía solar.  
Caso: consumo domiciliario en la ciudad de La Paz  
*Lizeth Dayana Dávila Tapia* ..... 1

Análisis de la producción de gasolina especial en Bolivia:  
Nueva unidad de reformación catalítica y nueva unidad de isomerización  
*Javier Ernesto Rojas Ruiz* ..... 17



Ilustración:  
Gonzalo Llanos

Director Ejecutivo:  
Javier Gómez Aguilar

Producción editorial:  
Unidad de Comunicación  
y Gestión de Información -  
CEDLA

Fotografías:  
Cortesía de:  
radioestacionminera.com, La voz del  
pueblo, Taller de Cocinas Solares en  
Villa Rosa – Sorata, iStock, Centro  
de investigación de EcoAndina en la  
Puna, Carlos Caballero SRL - Cbba.

Escriben:  
Lizeth Dayana Dávila Tapia  
Javier Ernesto Rojas Ruiz

Diagramación:  
Jorge Olmos Durán



Esta publicación está elaborada en el marco de la Plataforma Energética y la "Coalición Regional por la Transparencia y la Participación" conformada por Derecho Ambiente y Recursos Naturales (DAR), Asociación Ambiente y Sociedad, Centro de Derechos Económicos y Sociales (CDES) y el Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA) y cuenta con el financiamiento de Christian Aid y Rainforest Foundation

Síguenos en:  

Visita también la página de la Plataforma Energética a través de:  
<http://plataformaenergetica.org>

Visítanos  
[www.cedla.org](http://www.cedla.org)



Con el apoyo de



# Simulación de la sustitución de energía eléctrica tradicional por energía solar

## Caso: consumo domiciliario en la ciudad de La Paz

Lizeth Dayana Dávila Tapia\*

Bolivia es un país que actualmente cuenta con altos niveles de potencial energético, tanto tradicionales como alternativos. Sin embargo, estos últimos son utilizados en porcentaje menor y generan dependencia de fuentes fósiles. El país genera y distribuye energía, de la cual aproximadamente el 68,6% es energía térmica (gas natural y diésel), 30,1% energía hidroeléctrica y 1,3% energías alternativas (en su mayoría biomasa).

El consumo de electricidad en Bolivia es primordialmente residencial, ya que durante la gestión 2012, este segmento demandó el 37% de la energía requerida. Actualmente, la demanda de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) alcanzó los 1300 Megawatts (MW) con una generación de 1800 MW, distribuida en su mayoría en los departamentos del eje troncal (Santa Cruz, La Paz y Cochabamba) con el 76,5%.

En el departamento de La Paz la demanda alcanza a 310.5 MW, de los cuales el segmento residencial alcanza el 44%, comercial 21%, industrial 23% y minería, agropecuaria y otros el 12%.

Según el Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, el crecimiento promedio de la demanda hasta el 2012 fue del 9,04%, provocando búsqueda de nuevas energías alternativas que coadyuven a la satisfacción de la demanda en un futuro.

Las energías tradicionales que se utilizan para la generación de energía eléctrica son baratas con relación a la energía solar, sin embargo, en un futuro resultarán más costosas, debido a que son tipos de energías no renovables como aquellas de gas y/o petróleo.

Por lo tanto, se propone la sustitución de energía eléctrica tradicional por energía solar para consumo domiciliario en la Ciudad de La Paz, a través de

una simulación. Para lograr dicho objetivo, se construyen modelos matemáticos que permiten pronosticar el tiempo de agotamiento de la generación de energía convencional por gas y/o petróleo en Bolivia y simular el consumo energético domiciliario, tanto actual (por fuentes tradicionales) como futuro (por energía solar). Demostrar la viabilidad, ventajas y efecto sobre la matriz energética por esta sustitución, coadyuvando a minimizar la contaminación eléctrica y aumentar el uso de este tipo de energía.

### TERMOELÉCTRICAS

El crecimiento promedio de la demanda energética, donde la mayor parte de la energía eléctrica fue producida por termoeléctricas, indica la posible escasez de la misma en un futuro. Por esta razón es necesario el tiempo aproximado de agotamiento de los yacimientos de gas y/o petróleo, orientados a la producción energética. Para ello se aplica la curva de Hubbert<sup>1</sup>, tomando en cuenta los tres<sup>2</sup> tipos de reservas con los que contamos, la producción, comercialización y precios de Gas Natural.

A continuación, en el Cuadro 1, se muestra la cantidad de reserva de gas natural, en trillones de pies cúbicos americanos, por su sigla en inglés (TCF), desde el año 1997 hasta el 2015, datos recolectados de la compañía especializada Ryder Scott, donde observamos que entre los años 1997 y 2003 se tuvo un incremento de la producción nacional de gas natural y a partir del 2004 disminuyó.

### MODELO DE HUBBERT

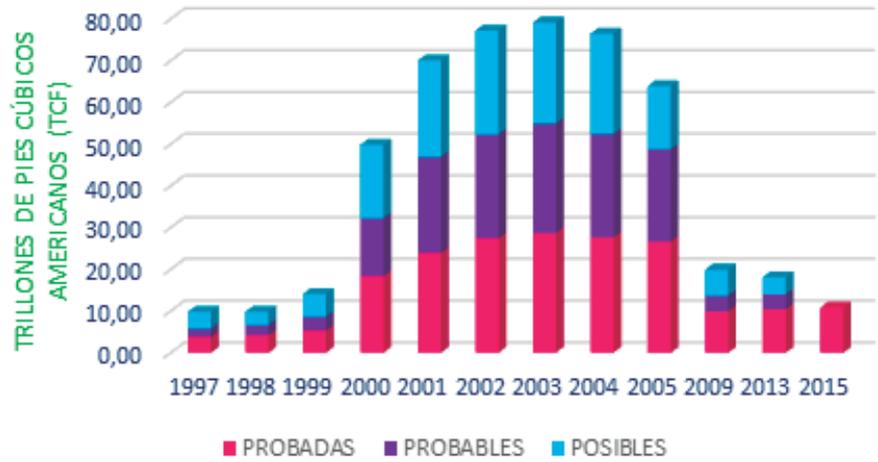
Aplicando el modelo de Hubbert se obtiene que el año de agotamiento de gas natural será el 2029 (Cuadro 2), en el mejor de los casos, pues se toman

\* *Ingeniera de Sistemas*  
La Paz - Bolivia  
e-mail: [dayanadavilatapia@gmail.com](mailto:dayanadavilatapia@gmail.com)

1 Modelo matemático orientado a pronosticar el pico de la producción y el agotamiento del mismo.  
2 Reservas probadas, probables y posibles.



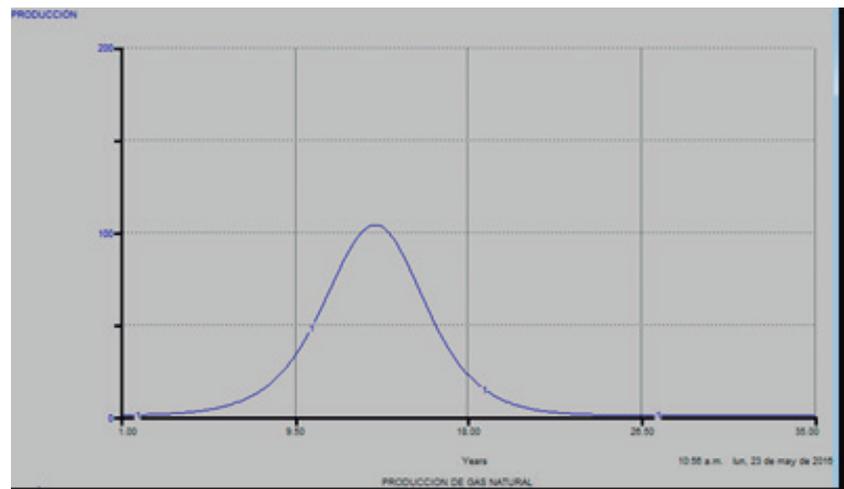
Cuadro I  
Producción nacional de gas natural  
(En trillones de pies cúbicos americanos)



Fuente: Ryder Scott Company Petroleum Consultants



Cuadro 2  
Modelo de Hubbert bajo el escenario de reservas probadas  
+ PROBABLES + POSIBLES



Fuente: Elaboración Propia Utilizando la Herramienta i-Think

en cuenta los tres tipos de reservas. Esto se debe a que al igual que el petróleo el gas natural es un recurso no renovable cuya producción decremanta hasta desaparecer, provocando además un alza de precios.

Dado que la simulación del modelo de Hubbert indica que el gas natural se agotará el año 2029, se debe pensar en soluciones o sustitutos de este tipo de energía por otros renovables antes de que esto ocurra. Pues si llegara a suceder y no se cuenta con un sustituto, nuestro país estaría obligado a importar este producto

a costos elevados y posiblemente un consumo restringido del mismo. Por esta razón se requiere buscar soluciones viables que mejoren la matriz energética y que no dañen el medio ambiente.

### SIMULACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA TRADICIONAL POR ENERGÍA SOLAR

Según la revista energética del Viceministerio de Energías Alternativas, el potencial solar en Bolivia,

para la generación de electricidad, con sistemas fotovoltaicos es altamente ventajoso por los altos niveles de intensidad existentes. Una instalación en La Paz es mucho más productiva que en otras partes del mundo, como se detalla en la Tabla 1.

La Paz es un departamento donde es posible generar una gran cantidad de energía solar por la alta radiación a la que está expuesta. Actualmente son pocas las viviendas que, en el área urbana, utilizan energía renovable de alta calidad siendo necesaria su aplicación, así como definir el tiempo requerido para la misma. Con este fin, se cuentan con varios modelos matemáticos para determinar el tiempo necesario para la sustitución de la energía convencional por energía solar, a través de modelos de series temporales que demuestren el impacto en el consumo, precio y rentabilidad.

Los modelos matemáticos de series temporales que se utilizan para la demostración del impacto de energía solar fotovoltaica sobre la matriz energética son los siguientes:

- Oferta de energía termoeléctrica
- Oferta de energía hidroeléctrica
- Demanda de energía eléctrica en función del consumo.
- Demanda de energía eléctrica en función del PIB y cantidad de consumidores.
- Demanda de energía eléctrica en función del consumo y del precio.

La determinación del tiempo necesario para realizar la sustitución y su impacto sobre la matriz energética se realiza a través de las siguientes simulaciones:

- Oferta y Demanda de energía eléctrica en función del consumo y su efecto sobre la matriz energética.

- Oferta y Demanda de energía eléctrica en función del PIB y cantidad de consumidores, y su efecto sobre la matriz energética.
- Oferta y Demanda de energía eléctrica en función del consumo y del precio, y su efecto sobre la matriz energética.

### OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DEL CONSUMO Y SU EFECTO SOBRE LA MATRIZ ENERGÉTICA

Para poder determinar el año en el cuál se debe realizar la sustitución, es decir, cuando la oferta no satisface a la demanda y el efecto de esta misma sobre la matriz energética, se debe primeramente realizar la simulación de oferta y demanda.

### OFERTA DE ENERGÍA TERMOELÉCTRICA

Para la realización de la simulación del modelo de oferta de energía termoeléctrica hasta el año 2029, se tomaron en cuenta datos históricos de inyecciones de energía eléctrica en La Paz, en megavatios por hora (MWh), desde el año 2001 hasta el año 2014, de la termoeléctrica del Kenko. Los datos fueron obtenidos del Comité Nacional de Despacho de Carga, a través de los informes emitidos por la distribuidora de esta ciudad.

El modelo matemático con el que se trabajó es el siguiente:

$$y_t = 1744.3 + 0.84y_{(t-1)}$$

Donde:

$y_t$  = Oferta de energía termoeléctrica en el tiempo t [medido en MWh]

$y_{(t-1)}$  = Oferta de energía termoeléctrica en el tiempo t-1 [medido en MWh]

t = Tiempo [meses]

**Tabla 1**  
Comparación de producción de electricidad con generadores fotovoltaicos: 1 kwp

Ciudad	Radiación media horizontal kwh/m2/día	Generación fotovoltaica media diaria kwh/kwp	Producción media anual kwh/kwp (*)
La Paz, Bolivia	6,78	5,77	2104
Lima, Perú	5,84	4,87	1778
Sevilla, España	4,81	4,42	1612
Quito, Ecuador	5,06	4,11	1502
Belem, Brasil	5,02	4,09	1491
Lyon, Francia	3,31	2,95	1077
Munich, Alemania	3,14	2,89	1054

**Notas:** kWh Kilovatios-hora, m2 metros cuadrados, kWh Kilovatios-hora, kWp Kilovatios-pico

**Fuente:** <http://borradorum.blogspot.com/2012/10/costos-de-generacion-de-electricidad.html>

Una vez realizada la construcción del modelo se pasa a la simulación del mismo para determinar el comportamiento en el futuro. Esto para visualizar la oferta que se tendrá hasta el año 2029 y determinar si la demanda podrá ser satisfecha.

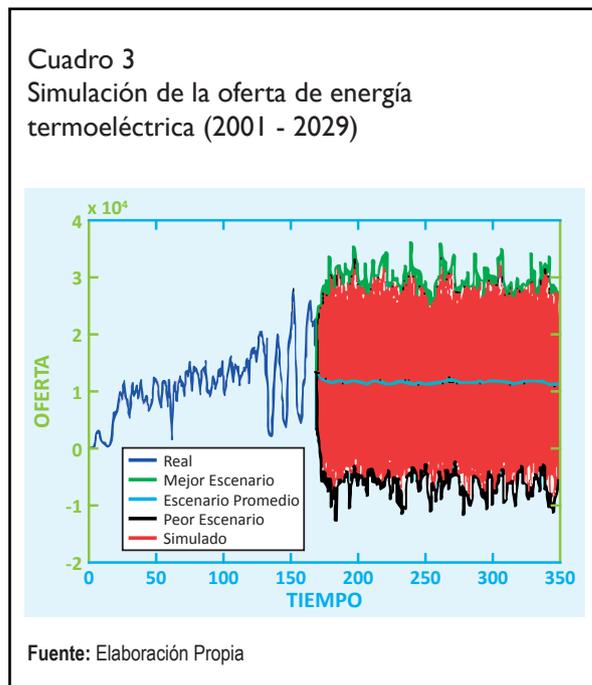
Para la determinación de la demanda a futuro se utilizó la anterior ecuación adicionando el dato de error, como se especifica a continuación.

$$y_t = 1744.3 + 0.84y_{(t-1)} + \varepsilon$$

Donde:  $\varepsilon$  = Error

Se determinó que los errores pertenecen a una función de probabilidad normal con media = -2.35 y desviación típica = 2238.47.

En el Cuadro 3 se muestra la simulación de los datos desde el año 2001 hasta el año 2029. Como se puede observar, se determinan tres posibles escenarios (mejor, promedio y peor), sin embargo, este último no se toma en cuenta, pues tiende a negativo.



### OFERTA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Para la realización de la simulación del modelo de la oferta de energía hidroeléctrica hasta el año 2029, se tomó en cuenta los datos históricos de inyecciones de energía eléctrica en La Paz, en MWh, desde el año 2001 hasta el año 2014, de la hidroeléctrica de Zongo. Los datos fueron obtenidos del Comité Nacional de Despacho de Carga, a través de los informes emitidos por la distribuidora de esta ciudad.

El modelo matemático con el que se trabajó es el siguiente:

$$y_t = 5174.18 + 0.84y_{(t-1)}$$

Donde:

$y_t$  = Oferta de energía hidroeléctrica en el tiempo  $t$  [medido en MWh]

$y_{(t-1)}$  = Oferta de energía hidroeléctrica en el tiempo  $t-1$  [medido en MWh]

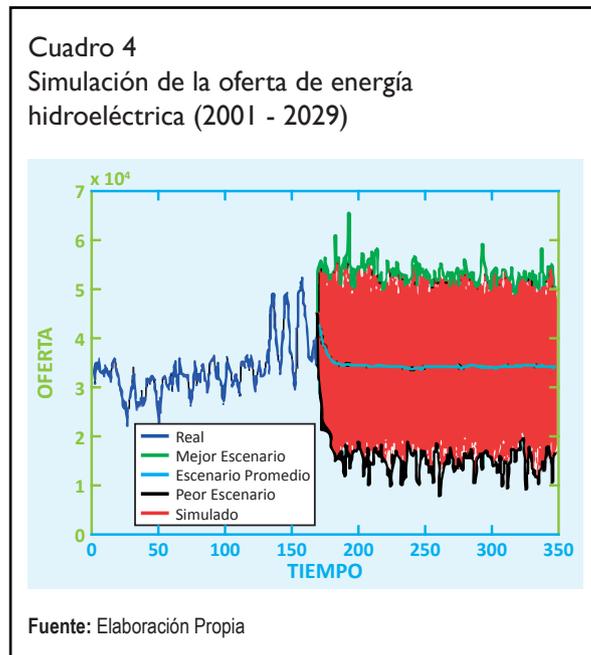
$t$  = Tiempo [meses]

Pasando a la simulación del mismo, se utilizó el anterior modelo, con su correspondiente determinación de error, como se especifica a continuación.

$$y_t = 5174.18 + 0.84y_{t-1} + \varepsilon$$

Se determinó que los errores pertenecen a una función de probabilidad normal con media = -2.35 y desviación típica = 2238,47.

En el Cuadro 4 se muestra la simulación de los datos desde el año 2001 hasta el año 2029. Al igual que en la simulación de energía termoeléctrica, se trabaja bajo tres escenarios, descartando al peor por tender a negativo.



### DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DEL CONSUMO

Para la realización de la construcción del modelo de la demanda en función del consumo hasta el año 2029,

se tomó en cuenta el consumo de energía eléctrica del área urbana de la ciudad de La Paz, de acuerdo con el tipo de usuario, que en este caso corresponde a “Doméstico”. Los datos con los que se trabajaron son del año 2000 hasta el año 2015, información recopilada de la base de datos de la distribuidora de energía DELA-PAZ y del INE.

El modelo matemático con el que se trabajó es el siguiente:

$$y_t = -0.3890\Delta y_{t-1} + y_{t-1}$$

Donde:

$y_t$  = Consumo de energía eléctrica en el tiempo t [medido en MWh]

$\Delta y_{t-1}$  = Consumo de energía eléctrica (desintegrado) en el tiempo t-1 [medido en MWh]

$y_{t-1}$  = Consumo de energía eléctrica en el tiempo t-1

t = Tiempo [medido en meses]

Pasando a la simulación, para la determinación de la demanda a futuro se utilizó el anterior modelo, con su correspondiente determinación de error, como se especifica a continuación.

$$y_t = -0.3890\Delta y_{t-1} + y_{t-1} + \epsilon$$

Se determinó que los errores pertenecen a una función de probabilidad normal con media=0 y desviación típica=2587.70.

En el Cuadro 5 se muestra la simulación de los datos desde el año 2001 hasta el año 2029. Trabajando bajo los tres posibles escenarios, el último no se toma en cuenta, pues la tendencia es creciente y este último no cumple con ella.

En el mejor escenario se puede observar que la pendiente de esta curva es elevada y variable, pues el consumo tiende a incrementar de manera exponencial. Esto no ocurre en el escenario promedio, pues sigue la tendencia creciente, pero con una pendiente casi constante.

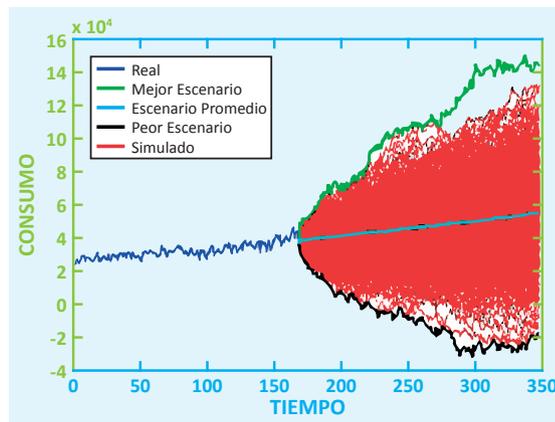
### OFERTA Y DEMANDA

Se trabaja bajo los dos escenarios posibles, tanto para la demanda como para la oferta, esto para poder determinar el tiempo en el que la demanda no es satisfecha por la oferta.

### MEJOR ESCENARIO

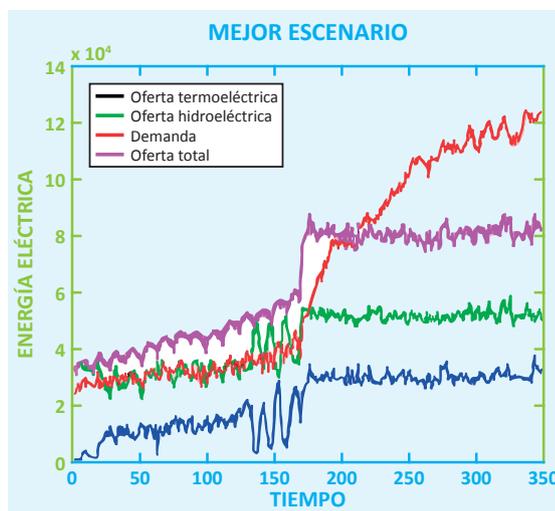
En el Cuadro 6 se muestra la relación de oferta y demanda en función del consumo desde el año 2001 hasta el 2029.

**Cuadro 5**  
Simulación del modelo de consumo de energía eléctrica en la ciudad de la paz (2001 - 2029)



Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 6**  
Oferta y demanda de energía eléctrica en función del consumo, en el mejor escenario (2001-2029)



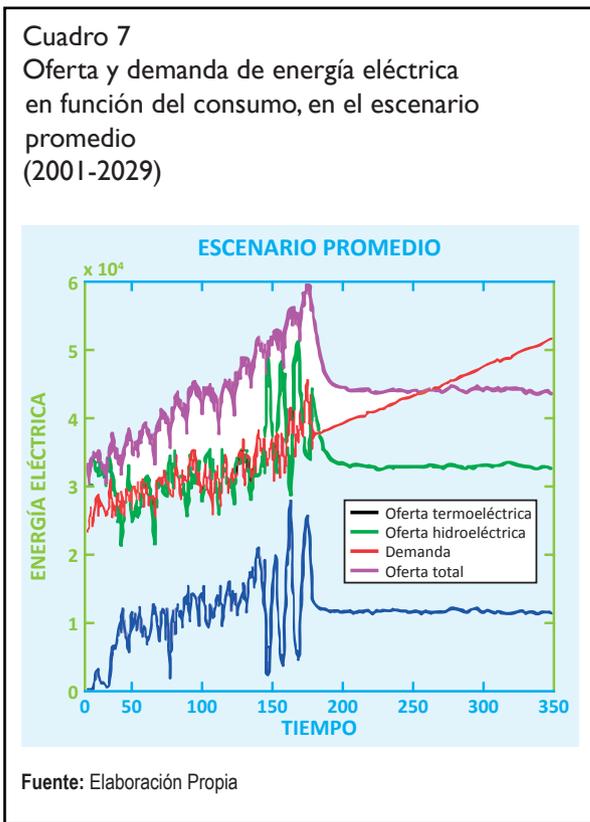
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, la oferta es mayor a la demanda, debido a que está compuesta no solamente por energía termoeléctrica, sino también por energía hidroeléctrica. En este escenario, la oferta total solo abastece a la demanda hasta el mes 211 (julio del 2018), a partir del mes 212 (agosto del 2018) la demanda sobrepasa a la oferta, lo que significa que esa demanda

debe ser satisfecha por otro tipo de energía, como la energía solar.

**ESCENARIO PROMEDIO**

En este escenario, en el Cuadro 7 se observa que la oferta total solo abastece a la demanda hasta el mes 255 (marzo del 2022), a partir del mes 256 (abril del 2022) la demanda sobrepasa a la oferta, lo que significa que esa demanda debe ser satisfecha por otro tipo de energía.



**MATRIZ ENERGÉTICA**

Seguidamente se muestra la evolución de la matriz energética desde el año 2016 hasta el año 2029, con un rango de cuatro años a partir del 2017

**MEJOR ESCENARIO**

En el Cuadro 8 se muestra la matriz energética desde el año 2016 hasta el año 2029, especificando el porcentaje de las distintas fuentes de energía eléctrica en la ciudad de La Paz.

Se muestra el cambio de la matriz energética cada cuatro años, a partir del 2017, para poder observar mejor el impacto de la sustitución de energía eléctrica tradicional por energía solar en la ciudad de La Paz, en la categoría residencial.

**MEJOR ESCENARIO**

En el Cuadro 9 se muestra la matriz energética desde el año 2016 hasta el año 2029, especificando el porcentaje de las distintas fuentes de energía eléctrica en la ciudad de La Paz.

**OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DEL PIB Y CANTIDAD DE CONSUMIDORES, Y SU EFECTO SOBRE LA MATRIZ ENERGÉTICA**

Para poder determinar el año en el cuál se debe realizar la sustitución según este modelo y su posterior impacto en la matriz energética, se debe primeramente realizar la simulación de la demanda en función del PIB y Cantidad de consumidores.

**DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DEL PIB Y CANTIDAD DE CONSUMIDORES**

Para la realización de la construcción del modelo de la demanda en función del PIB y cantidad de consumidores hasta el año 2029, se tomó en cuenta el número de consumidores de energía eléctrica del área urbana de la ciudad de La Paz, de acuerdo con el tipo de usuario, que en este caso corresponde a “Doméstico”. Del mismo modo se tomó en cuenta el PIB de manera trimestral, en lo que corresponde al PIB per cápita. Los datos con los que se trabajaron son desde el año 2000 hasta el año 2015, información recopilada de la base de datos de la AE, de la distribuidora de energía DELAPAZ y del INE.

El modelo matemático con el que se trabajó es el siguiente:

$$Q_t = 57690 + 0.00031125R_{t-1} + 0.0766S_{t-1}$$

Donde:

- $Q_t$  = Demanda de energía eléctrica
- $R_{t-1}$  = PIB en el tiempo t-1 [medido en Bs]
- $S_{t-1}$  = Cantidad de consumidores en el tiempo t-1
- $t$  = Tiempo [medido en trimestres]

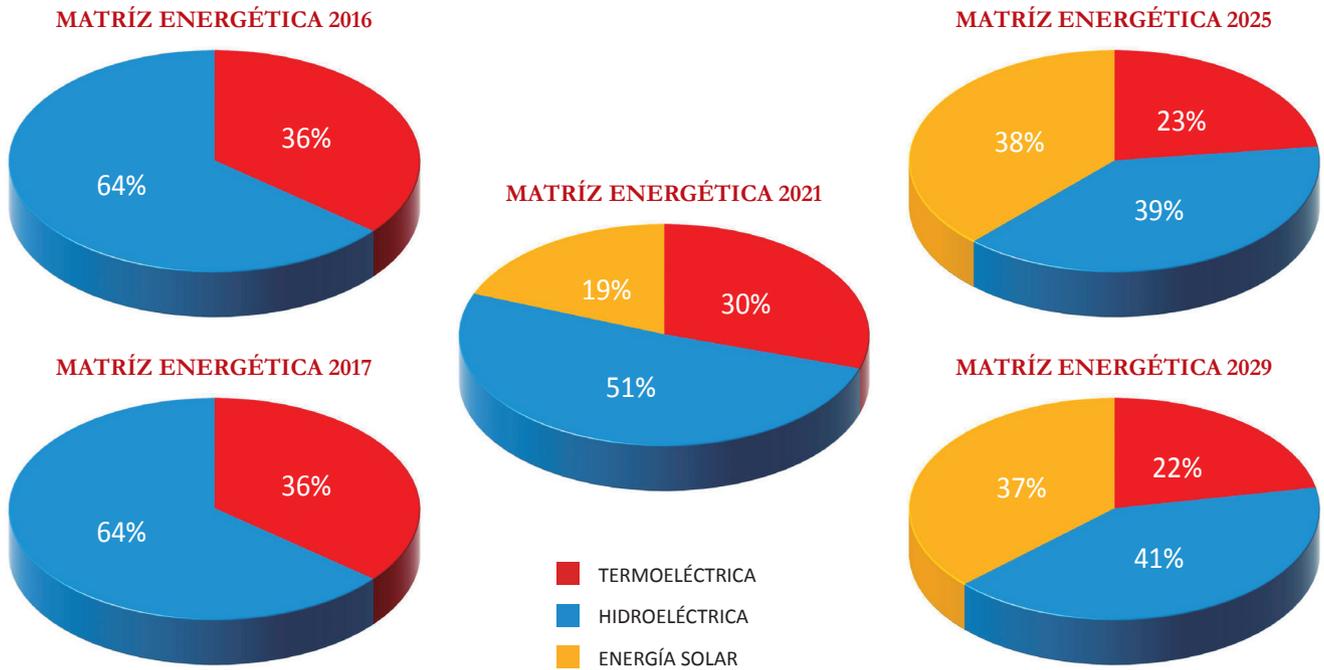
Pasando a la simulación, para la determinación de la demanda a futuro se utilizó el anterior modelo, con su correspondiente error.

$$Q_t = 57690 + 0.00031125R_{t-1} + 0.0766S_{t-1} + e$$

Para la determinación del PIB futuro se utilizó un modelo AR(1), con su correspondiente determinación de error, como se especifica a continuación.

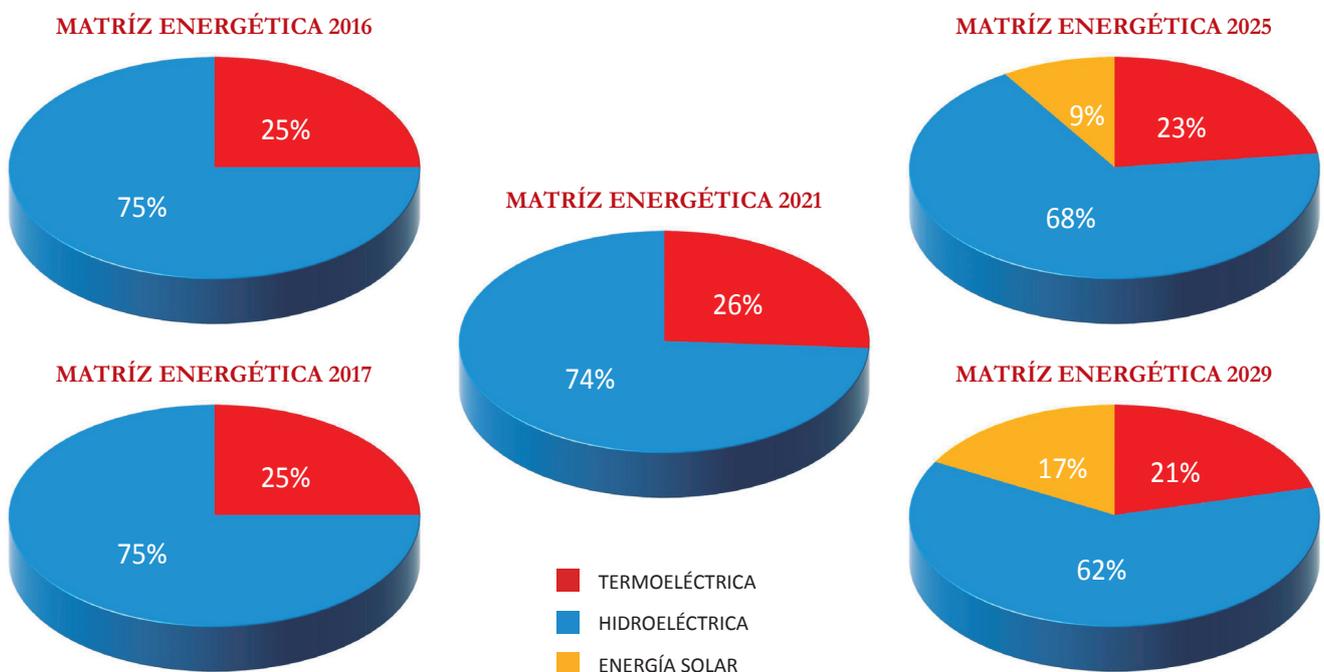
$$\Delta y_t = 1155400 - 0.3324\Delta y_{t-1} + e$$

**Cuadro 8**  
Matriz energética, donde la demanda depende del consumo. Mejor escenario (2016-2029)



Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 9**  
Matriz energética, donde la demanda depende del consumo. Escenario promedio (2016-2029)



Fuente: Elaboración Propia

Donde:

$$\begin{aligned} \Delta y_t &= \text{PIB en el tiempo } t \text{ (Desintegrado)} \\ \Delta y_{t-1} &= \text{PIB en el tiempo } t-1 \text{ (Desintegrado)} \\ \epsilon &= \text{Error} \end{aligned}$$

Se determinó que los errores pertenecen a una función de probabilidad normal con media=14 y desviación típica=1516754,59.

Para la determinación de la cantidad de consumidores en el futuro, se utilizó un modelo AR(1), con su correspondiente determinación de error, como se especifica a continuación.

$$\Delta y_t = 1155400 - 0.3324\Delta y_{t-1} + \epsilon$$

Donde:

$$\begin{aligned} \Delta y_t &= \text{Cantidad de consumidores en el tiempo } t \text{ (Desintegrado)} \\ \Delta y_{t-1} &= \text{Cantidad de consumidores en el tiempo } t-1 \text{ (Desintegrado)} \\ \epsilon &= \text{Error} \end{aligned}$$

En el Cuadro 10 se muestra la simulación de los datos de la demanda desde el año 2001 hasta el año 2029. Trabajando bajo los tres posibles escenarios, el último no se toma en cuenta, pues la tendencia es creciente y este último no cumple con ella.

En el mejor escenario se puede observar que la pendiente de esta curva es elevada y casi constante, al igual que el en el escenario promedio, pero con una mayor pendiente.

### OFERTA Y DEMANDA

Se trabaja bajo los dos escenarios posibles, tanto para la demanda como para la oferta, esto para poder determinar el tiempo en el que la demanda no es satisfecha por la oferta. Es necesario recordar que la oferta es la misma que en el anterior modelo, pues depende de los mismos factores.

### MEJOR ESCENARIO

En el Cuadro 11 se muestra la relación de oferta y demanda en función del PIB y cantidad de consumidores, en el mejor escenario desde el año 2001 hasta el 2029.

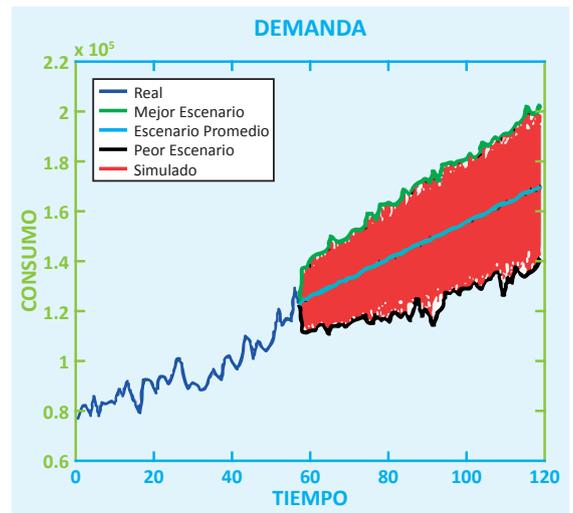
Como se puede observar, En este escenario, la oferta total abastece a la demanda en todo momento, lo que significa que no se necesita otro tipo de energía sustituta.

### ESCENARIO PROMEDIO

En este escenario, en el Cuadro 12 se observa que la oferta total solo abastece a la demanda hasta el trimes-

Cuadro 10

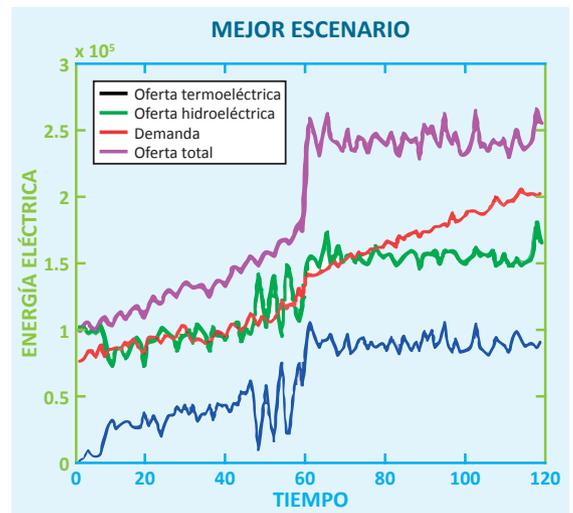
Simulación del modelo de demanda de energía eléctrica en la ciudad de La Paz, en función del PIB y cantidad de consumidores, con datos reales y simulados (2001-2029)



Nota: PIB=Producto Interno Bruto  
Fuente: Elaboración Propia

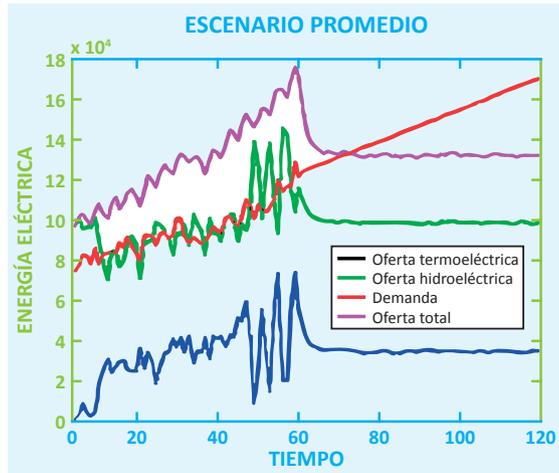
Cuadro 11

Oferta y demanda de energía eléctrica en función del PIB y cantidad de consumidores, en el mejor escenario (2001-2029)



Nota: PIB=Producto Interno Bruto  
Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 12**  
Oferta y demanda de energía eléctrica en función del PIB y cantidad de consumidores, en el escenario promedio (2001-2029)



Notas: PIB=Producto Interno Bruto  
Fuente: Elaboración Propia

tre 67 (tercer trimestre del 2017), a partir del trimestre 68 (cuarto trimestre del 2017) la demanda sobrepasa a la oferta, lo que significa que esa demanda debe ser satisfecha por otro tipo de energía

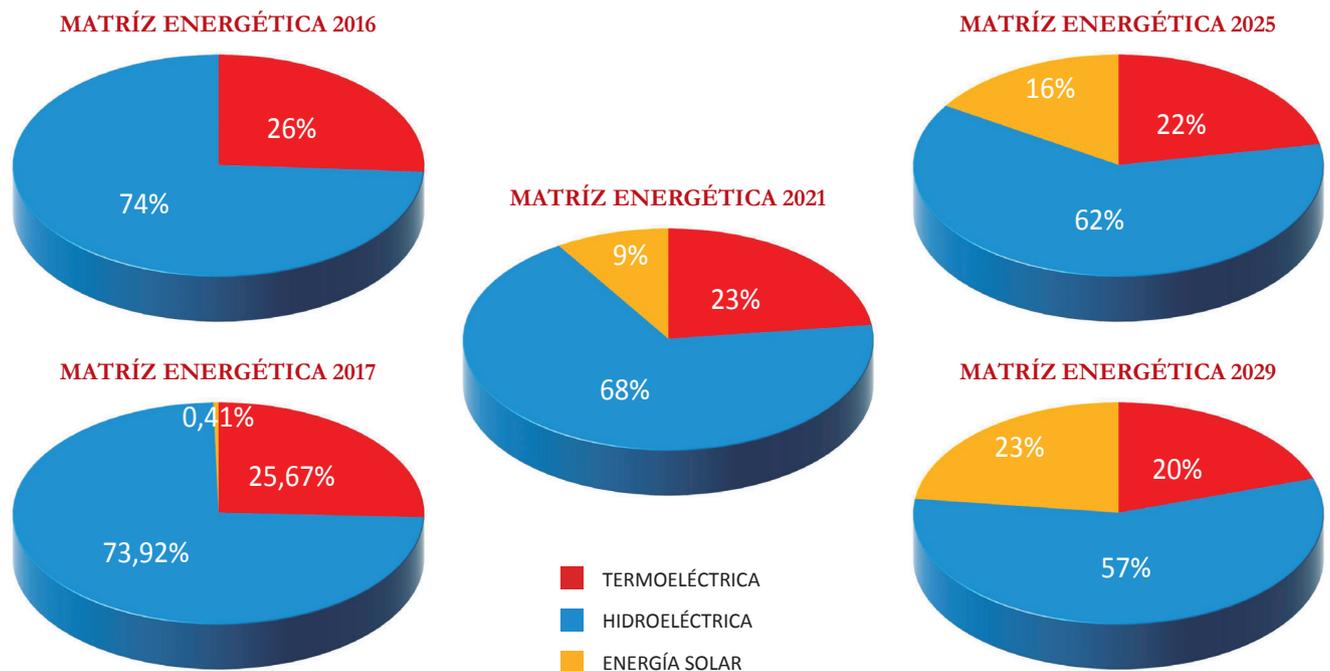
**MATRIZ ENERGÉTICA**

En el Cuadro 13 se muestra la evolución de la matriz energética desde el año 2016 hasta el año 2029, con un rango de cuatro años a partir del 2017, sólo en el escenario promedio, pues es el único que necesita una sustitución.

**OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DEL CONSUMO Y EL PRECIO, Y SU EFECTO SOBRE LA MATRIZ ENERGÉTICA**

Para poder determinar el año en el cuál se debe realizar la sustitución según este modelo y su posterior impacto en la matriz energética, se debe primeramente realizar la simulación de la demanda en función del consumo y precio.

**Cuadro 13**  
Matriz energética, donde la demanda depende del PIB y cantidad de consumidores. Escenario promedio (2016-2029)



Notas: PIB=Producto Interno Bruto  
Fuente: Elaboración Propia

## DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DEL CONSUMO Y PRECIO

Para la realización de la construcción del modelo de la demanda en función del consumo y precio hasta el año 2029, se tomó en cuenta el consumo y precio de energía eléctrica del área urbana de la ciudad de La Paz, de acuerdo con el tipo de usuario, que en este caso corresponde a “Doméstico”. Los datos con los que se trabajaron son desde el año 2000 hasta el año 2015, información recopilada de la base de datos de la AE, de la distribuidora de energía DELAPAZ y del INE.

El modelo matemático VAR con el que se trabajó es el siguiente:

$$Q_t = 4650.5 + 0.5176Q_{t-1} + 1572P_{t-1}$$

$$P_t = -0.1008 + 0.9894P_{t-1} + 5.9471 \times 10^{-6} Q_{t-1}$$

Donde:

$Q_t$  = Demanda de energía eléctrica en el tiempo  $t$  [medido en MWh]

$Q_{t-1}$  = Demanda de energía eléctrica en el tiempo  $t-1$  [medido en MWh]

$P_t$  = Precio de energía eléctrica en el tiempo  $t$  [medido en c\$/kW]

$P_{t-1}$  = Precio de energía eléctrica en el tiempo  $t-1$  [medido en c\$/kW]

$t$  = Tiempo [medido en meses]

Pasando a la simulación, para la determinación de la demanda a futuro se utilizó el anterior modelo, con su correspondiente error.

$$Q_t = 4650.5 + 0.5176Q_{t-1} + 1572P_{t-1} + \varepsilon_1$$

$$P_t = -0.1008 + 0.9894P_{t-1} + 5.9471 \times 10^{-6} Q_{t-1} + \varepsilon_2$$

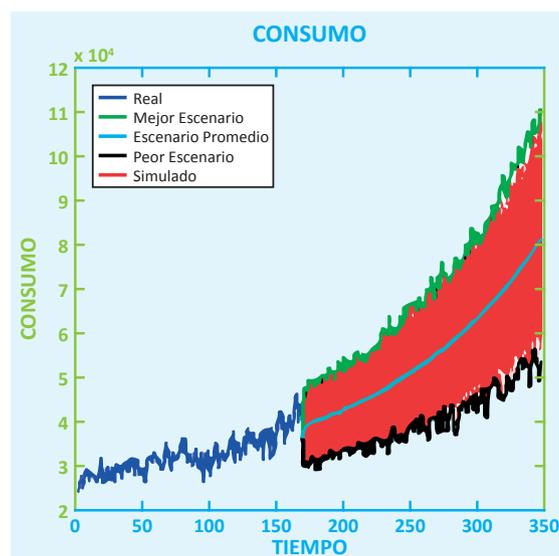
Se determinó que los errores pertenecen a una función de probabilidad normal con media=1.82 y desviación típica=2362.22 (para  $\varepsilon_1$ ); media=0 y desviación típica=0.07 (para  $\varepsilon_2$ )

En el Cuadro 14 se muestra la simulación de los datos de la demanda desde el año 2001 hasta el año 2029. Trabajando bajo los tres posibles escenarios, el último no se toma en cuenta, pues la tendencia es creciente y este último no cumple con ella.

En el mejor escenario se puede observar que la pendiente de esta curva es elevada y casi constante, al igual que el en el escenario promedio, pero con una mayor pendiente.

Cuadro 14

Simulación del modelo de demanda de energía eléctrica en la ciudad de La Paz, en función del consumo y precio, con datos reales y simulados. (2001-2029)



Fuente: Elaboración Propia

## OFERTA Y DEMANDA

Se trabaja bajo los dos escenarios posibles, tanto para la demanda como para la oferta, esto para poder determinar el tiempo en el que la demanda no es satisfecha por la oferta.

### MEJOR ESCENARIO

En el Cuadro 15 se muestra la relación de oferta y demanda en función del precio desde el año 2001 hasta el 2029. En este escenario, la oferta total solo abastece a la demanda hasta el mes 281 (mayo del 2024), a partir del mes 282 (junio del 2024) la demanda sobrepasa a la oferta, lo que significa que esa demanda debe ser satisfecha por otro tipo de energía.

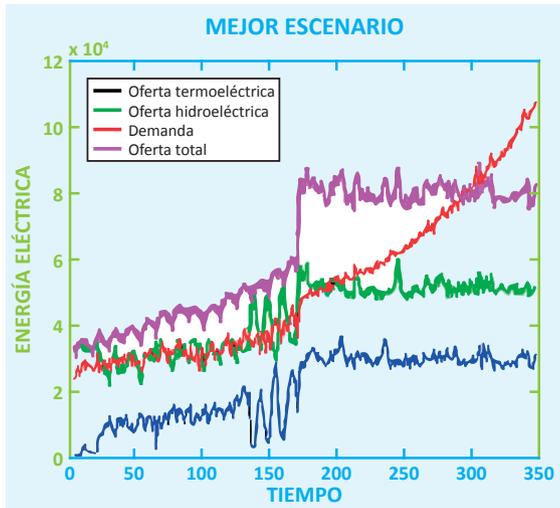
### ESCENARIO PROMEDIO

En este escenario, en el Cuadro 16 la oferta total solo abastece a la demanda hasta el mes 213 (septiembre del 2018), a partir del mes 214 (octubre del 2018) la demanda sobrepasa a la oferta, lo que significa que esa demanda debe ser satisfecha por otro tipo de energía.

## MATRIZ ENERGÉTICA

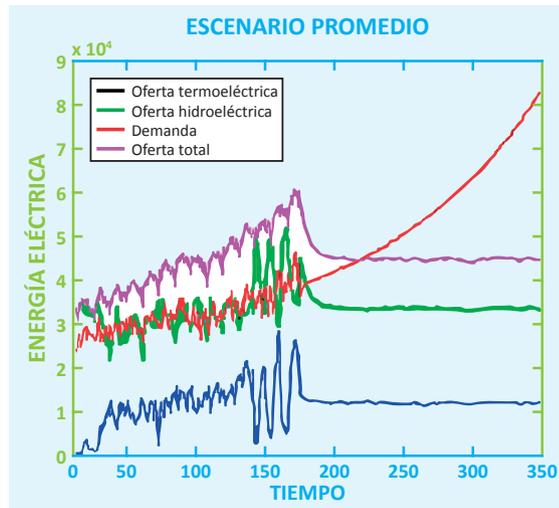
Seguidamente se muestra la evolución de la matriz energética desde el año 2016 hasta el año 2029, con un rango de cuatro años a partir del 2017

**Cuadro 15**  
Oferta y demanda de energía eléctrica en función del precio, en el mejor escenario (2001-2029)



Fuente: Elaboración Propia

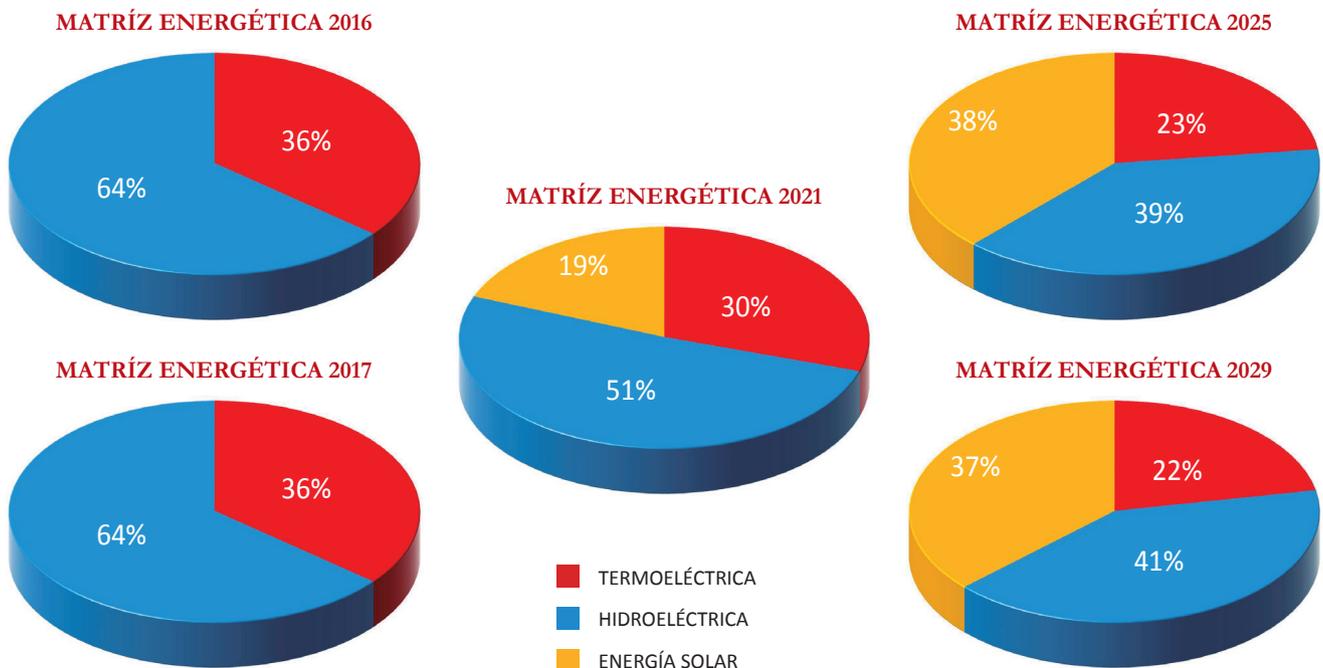
**Cuadro 16**  
Oferta y demanda de energía eléctrica en función del precio, en el escenario promedio (2001-2029)



Fuente: Elaboración Propia

**MEJOR ESCENARIO**

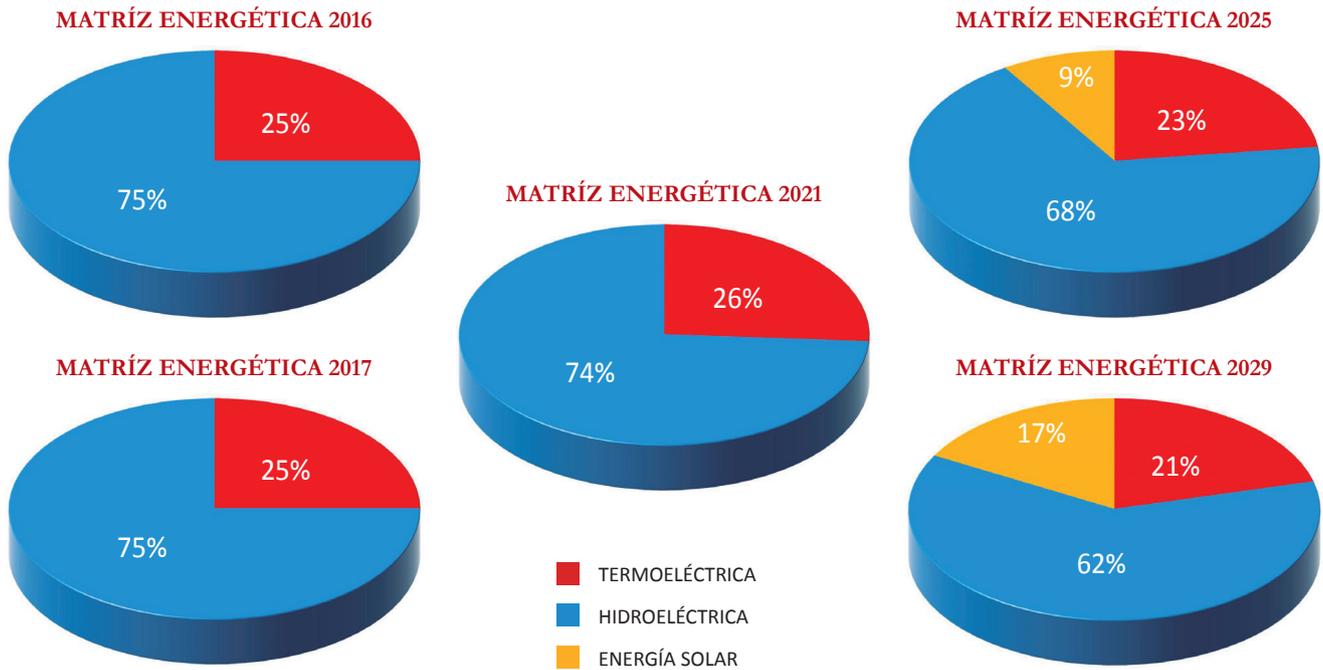
**Cuadro 17**  
Matriz energética, donde la demanda depende del consumo. Mejor escenario (2016-2029)



Fuente: Elaboración Propia

MEJOR ESCENARIO

Cuadro 18  
Matriz energética, donde la demanda depende del consumo. Escenario promedio (2016-2029)



Fuente: Elaboración Propia



**ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LOS HOGARES**

Debido a que el tamaño promedio de integrantes de una familia en La Paz es 3.1, se toma como muestra a una familia modelo que consume 366 Kilovatios por hora (kWh), en un mes. Sin embargo, esta cantidad variará según la cantidad de artefactos electrónicos que requieran energía eléctrica. Para el cálculo del mismo, se toma en cuenta los watts/h del aparato, la cantidad de esos aparatos en casa y la duración por día que se utiliza el aparato, convertir dicha cantidad en kWh y de esta forma obtener el consumo total en un día. Se realiza el cálculo de los paneles solares, obteniendo 7.9≈8 paneles. De acuerdo con los siguientes aparatos base (Tabla 2).

Si cada familia en la ciudad de La Paz implementaría un sistema fotovoltaico en su hogar, se llegaría a ahorrar 2,622,360 kWh, lo que significaría una menor dependencia hacia fuentes no renovables y que en un futuro serán más caras.

**ENERGÍA TERMOSOLAR EN LOS HOGARES**

Estos equipos tienen una vida útil de entre 20 a 30 años. Con el ahorro de energía eléctrica que es utilizada

**Tabla 2**  
Equipos básicos de una familia tipo

Equipo	Cantidad	Potencia [W]	Horas de uso	Energía W/h
Computadora (CPU)	1	100	1	100
Televisor	3	125	8	3000
Cargador de Celular	3	5	2	30
Radio	1	20	2	40
Plancha	1	1000	0.2	200
Secadora de cabello	1	1000	0.2	200
Licuadaora	1	450	0.2	90
Batidora	1	350	0.1	35
Cargador de Computador	2	65	4	520
Impresora	1	150	0.2	30
Modem ADSL	1	30	24	720
Monitor computadora	1	78	1	78
Total				5043

Fuente: Elaboración Propia

para calentar agua, el tiempo de recuperación de la inversión es de sólo tres años y medio. Al final de la vida útil de los calefones solares, además de recuperar la inversión se obtiene un beneficio adicional por ahorro de energía por más de 17 años.

Cada calentador solar de un metro cuadrado de área de captación puede producir, como promedio, 3 kWh cada día. Es decir, con un tanque termosolar modelo SS150 una familia de 3.1 integrantes ahorrarían 5.4 kWh. Multiplicando esa cantidad por la cantidad de familias en La Paz se ahorrarían 2,829,600 kWh de energía eléctrica al día.

### ANÁLISIS DE COSTOS, BENEFICIOS Y VIABILIDAD

A continuación, se detallan los costos y beneficios totales de la implementación de energía solar, tanto en el SIN, como en los hogares con paneles fotovoltaicos y termosolares. Así mismo, demostrar su rentabilidad con la relación beneficio-costo.

#### COSTOS

En el Cuadro 19 se detallan los costos del sistema fotovoltaico y termosolar. Los costos totales incluyen costos de materiales y mantenimiento, tomando en cuenta la vida útil de los materiales y las cantidades de acuerdo con la demanda que debe satisfacer. En el caso del sistema termosolar, no se realizó ningún cálculo de costos, pues son costos determinados por la empresa Sico Solar, empresa boliviana, que realiza la instalación del mismo en los hogares.

**Cuadro 19**  
Costos de los sistemas fotovoltaicos y termosolares

Sistema	Detalle	Costo Total
Fotovoltaico Conectado a la Red	Demanda en función del consumo (Mejor escenario)	79,836,919,001.42
	Demanda en función del consumo (Escenario promedio)	10,440,013,169.69
	Demanda en función del PIB y Cantidad de consumidores (Escenario promedio)	49,470,611,257.27
Fotovoltaico Conectado a la Red	Demanda en función del consumo y precio (Mejor escenario)	37,294,868,357.65
	Demanda en función del consumo y precio (Escenario promedio)	47,011,690,635.08
Fotovoltaico Aislado	Familia Tipo	14,096.65
Termosolar	4 personas/día	14,129.15
	5 personas/día	18,200.12
	7 personas/día	22,951.16
	9 personas/día	29,930.44
	11 personas/día	36,623.52

Fuente: Elaboración Propia

## BENEFICIOS

En el Cuadro 20 se detallan los beneficios del sistema fotovoltaico y termosolar. En este caso se realiza la estimación de ingresos según los precios por kWh, Índice de Precios al Consumidor (IPC), pérdida de eficiencia del panel fotovoltaico, producción y demanda de energía eléctrica para el caso del sistema fotovoltaico conectado a la Red. En el caso del sistema fotovoltaico aislado se realiza la estimación de ahorro con la energía producida y el precio de la energía eléctrica. Por último, para el caso del sistema termosolar, se toma como referencia el ahorro de energía de los productos de Sico Solar. Para esto se estima a 25 años, año útil de vida de un termocalentador, con los ahorros de energía por mes.

## RELACIÓN BENEFICIO-COSTO

En el Cuadro 21 se detalla la relación entre los beneficios y costos totales, demostrando la viabilidad en todos los casos, dado que todos son mayores a uno.

Cuadro 19. Beneficios totales de los sistemas fotovoltaicos y termosolares

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La energía solar, es un tipo de energía renovable, siendo el ciclo de vida útil del panel solar 25 años, lo que significa que brinda mayores beneficios, pues es una energía alternativa limpia, inagotable y conlleva a mejorar el modo de vida de las personas del área urbana y con un mayor impacto en el área rural. Además de brindar beneficios económicos, porque se recupera lo invertido en menor tiempo del ciclo de vida de los componentes de estos sistemas (fotovoltaico y termosolar). Por lo tanto, se recomienda el uso de paneles

**Cuadro 20**  
Costos de los sistemas fotovoltaicos y termosolares

Sistema	Detalle	Costo Total
Fotovoltaico Conectado a la Red	Demanda en función del consumo (Mejor escenario)	114,634,816,766.57
	Demanda en función del consumo (Escenario promedio)	10,850,620,359.48
	Demanda en función del PIB y Cantidad de consumidores (Escenario promedio)	99,219,464,244.09
	Demanda en función del consumo y precio (Mejor escenario)	42,376,645,761.17
	Demanda en función del consumo y precio (Escenario promedio)	70,192,635,662.08
Fotovoltaico Aislado	Familia Tipo	37,016.76
	4 personas/día	48,456.45
	5 personas/día	75,759.88
Termosolar	7 personas/día	98,152.84
	9 personas/día	137,109.56
	11 personas/día	172,176.48

Fuente: Elaboración Propia

solares en los hogares para reducir la contaminación ambiental y el costo que actualmente se paga por este servicio. Además, la creación de bosques solares co-



**Cuadro 21**  
Beneficios totales de los sistemas fotovoltaicos y termosolares

Sistema	Detalle	B	C	B/C
Fotovoltaico Conectado a la Red	Demanda en función del consumo (Mejor escenario)	114,634,816,766.57	79,836,919,001.42	1,44
	Demanda en función del consumo (Escenario promedio)	10,850,620,359.48	10,440,013,169.69	1,04
	Demanda en función del PIB y Cantidad de consumidores (Escenario promedio)	99,219,464,244.09	49,470,611,257.27	2,01
	Demanda en función del consumo y precio (Mejor escenario)	42,376,645,761.17	37,294,868,357.65	1,14
	Demanda en función del consumo y precio (Escenario promedio)	70,192,635,662.08	47,011,690,635.08	1,49
Fotovoltaico Aislado	Familia Tipo	37,016.76	14,096.65	2,63
Termosolar	4 personas/día	48,456.45	14,129.15	3,43
	5 personas/día	75,759.88	18,200.12	4,16
	7 personas/día	98,152.84	22,951.16	4,28
	9 personas/día	137,109.56	29,930.44	4,58
	11 personas/día	172,176.48	36,623.52	4,70

Fuente: Elaboración Propia

adyuvaría a distribuir este tipo de energía eléctrica no sólo a los hogares, sino a todas las demás categorías (general, industrial, alumbrado público y otros) que consumen en mayor o menor medida, promoviendo de esta manera el cambio en la matriz energética y la menor dependencia hacia fuentes tradicionales no renovables.

Del mismo modo, se recomienda empezar a implementar en los hogares este tipo de energía alternativa, pues en la ciudad de La Paz se tiene una radiación solar mayor a la de países con grandes sistemas fotovoltaicos, como los de España. De esta manera se contribuiría no solo a la reducción de impacto medioambiental, sino también a optar por una sostenibilidad energética y un cambio en la matriz energética que permita la independencia hacia fuentes no renovables. Proponiendo de esta forma una política energética limpia y beneficiosa para la sociedad, por lo tanto, este trabajo sirve de base para seguir incursionando en el mundo de las energías renovables no convencionales como la eólica y biomasa.

Como la energía termoeléctrica proviene del gas natural y sus tres tipos de reservas (probadas, probables y posibles) han disminuido notablemente en los últimos años, se recomienda disminuir el consumo de este tipo de energía, ya que como se determinó en el presente trabajo, en un futuro se agotará y consecuentemente el precio de distribución incrementará.

Debido a que la cantidad de consumidores cada vez es mayor, se debe pensar en nuevas alternativas de generación de energía eléctrica que coadyuven a la satisfacción de la demanda e incluso permitan un excedente para poder comercializar al exterior y generar mayores ingresos al país. Que sea posible a través de estas fuentes de energía renovables, producir, operar, mantener y mejorar la distribución de energía para que esté al alcance de todos, en todos los rincones del país, promoviendo la calidad de vida de todas las personas.

Los modelos desarrollados en el presente trabajo sirven para la evaluación de la sustitución de energía eléctrica de fuentes tradicionales por energía solar en los domicilios de la ciudad de La Paz, sin embargo, pueden utilizarse para la evaluación en otras ciudades urbanas e incluso rurales, cambiando los valores de los parámetros en función de los datos del PIB, consumo, cantidad de consumidores y precio para determinar la demanda de energía eléctrica. Asimismo, cambiando los parámetros de gas explotable, producido y las reservas para determinar el tiempo de agotamiento y pico de producción del gas natural. En cuanto a lo que se refiere al cálculo de paneles solares, se debe tomar en cuenta la irradiación de energía solar en el lugar donde se desea realizar la evaluación. Es así, que se recomienda tomar en cuenta los modelos realizados, para otros estudios de investigación aplicados a otras ciudades o áreas.

### BIBLIOGRAFÍA

GUZMÁN SALINAS Juan Carlos. El estado de la planificación energética en Bolivia. CEDLA, 2010, La Paz, 74p.

PINDYCK Robert S. y RUBINFELD Daniel L. Econometría: Modelos y Pronósticos. McGraw-Hill, 1998, México, 661p.

SOTO José Francisco (2014). Uso de energía solar baja 40% costo de luz con CFE. Milenio. Consultado en: 10/04/2016 en [http://www.milenio.com/region/Usa-energia-solar-costo-CFE\\_0\\_381562252.html](http://www.milenio.com/region/Usa-energia-solar-costo-CFE_0_381562252.html)

COMPARATARIFASENERGIA. ¿Cómo calcular el consume de energía?. Consultado en: 14/04/2016 en

<http://www.comparatarifasenergia.es/info-energia/calcular-el-consumo>

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES. (2015). Balance Energético Nacional Año 2014. Consultado en: 14/04/2016 en [http://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1550](http://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=1550)

DIFUSIÓN SOLAR. (2012). Energía solar fotovoltaica. Consultado en: 21/03/2016 en <http://www.elpuntosolar.com/sites/default/files/manual-curso-energia-solar.pdf>



# Análisis de la producción de gasolina especial en Bolivia:

## Nueva unidad de reformación catalítica y nueva unidad de isomerización

*Javier Ernesto Rojas Ruiz*

### INTRODUCCIÓN

Con el fin de eliminar definitivamente la importación de gasolina especial y su respectiva subvención, efectuadas para cubrir la demanda interna del combustible, el gobierno nacional actual planteó y llevó a cabo la implementación y construcción de la nueva Unidad de Reformación Catalítica y la Unidad de Isomerización en las refinerías Gualberto Villarroel y Guillermo Elder Bell, respectivamente, para incrementar la producción de gasolina en el país de manera que sea posible alcanzar la autosuficiencia de este combustible paulatinamente. El objetivo de ambas unidades marca la importancia del estudio del desarrollo de estos procesos, debido principalmente al impacto económico que tendría esta actividad, además de político y social, al marcar metas tan significativas dentro del rubro con mayor influencia en la economía nacional. Al ser una innovación el planteamiento de esta propuesta y estratégica para solucionar la problemática histórica del déficit de combustibles líquidos en el país, es de mucha relevancia conocer los efectos e impactos reales de esta medida y el alcance o cumplimiento de sus expectativas.

El objetivo general del estudio es analizar el proceso de obtención de gasolina especial mediante la implementación de dos nuevas unidades productivas, una de Reformación Catalítica y otra de Isomerización, a partir de los datos e información acerca de sus mecanismos, tecnología e inversiones. Asimismo, se pretende identificar los efectos directos e indirectos en la economía del país, a partir del desarrollo de actividades de midstream y downstream dentro de la cadena de valor.

Entre los objetivos específicos están:

- Describir de manera concisa el proceso de construcción de las unidades de Reformación Catalítica e Isomerización, sus instalaciones y equipamiento general.
- Definir y describir los procesos y mecanismos de obtención de gasolina en las nuevas unidades instaladas para este objetivo.

- Evaluar los costos de inversión para la construcción y funcionamiento.
- Calcular de manera aproximada la producción real de gasolina en ambas unidades y su efecto económico en el abastecimiento de dicho combustible a nivel nacional.
- Comparar y analizar los resultados obtenidos con la investigación en relación a la información publicada por el gobierno actual al momento de la puesta en marcha de estos proyectos.

### ¿EN QUÉ CONSISTEN LOS PROCESOS DE REFORMACIÓN CATALÍTICA E ISOMERIZACIÓN?

El octanaje o RON es el factor que indica el grado de resistencia de un combustible a detonar espontáneamente en un motor de combustión interna, bajo las condiciones de presión a las que se somete generada por los gases producidos que proveen la energía necesaria para el funcionamiento de un vehículo o maquinaria. Esta pre-ignición reduce la eficiencia del motor y lo deteriora, por lo tanto, son indispensables altos números de octanaje, estandarizados por regulaciones internacionales e internas, que están en función de los porcentajes de hidrocarburos C8 presentes en el combustible.

El octanaje o RON es el factor que indica el grado de resistencia de un combustible a detonar espontáneamente en un motor de combustión interna, bajo las condiciones de presión a las que se somete generada por los gases producidos que proveen la energía necesaria para el funcionamiento de un vehículo o maquinaria. Esta pre-ignición reduce la eficiencia del motor y lo deteriora, por lo tanto, son indispensables altos números de octanaje, estandarizados por regulaciones internacionales e internas, que están en función de los porcentajes de hidrocarburos C8 presentes en el combustible.

La denominación “catalítica” se debe a la utilización de un compuesto en específico, que tiene la función de generar, canalizar y garantizar que las reacciones se di-

rijan con el mayor rendimiento posible a la formación de los productos deseados. Entre los catalizadores más comunes para esta unidad están el platino, cromo, molibdeno, cobalto, combinaciones entre los anteriores y adiciones recientes de renio, estaño e iridio con la finalidad de optimizar cierto tipo de procesos, cuya selección depende de la tecnología utilizada, condiciones de operación y los requerimientos específicos de cada alimentación.

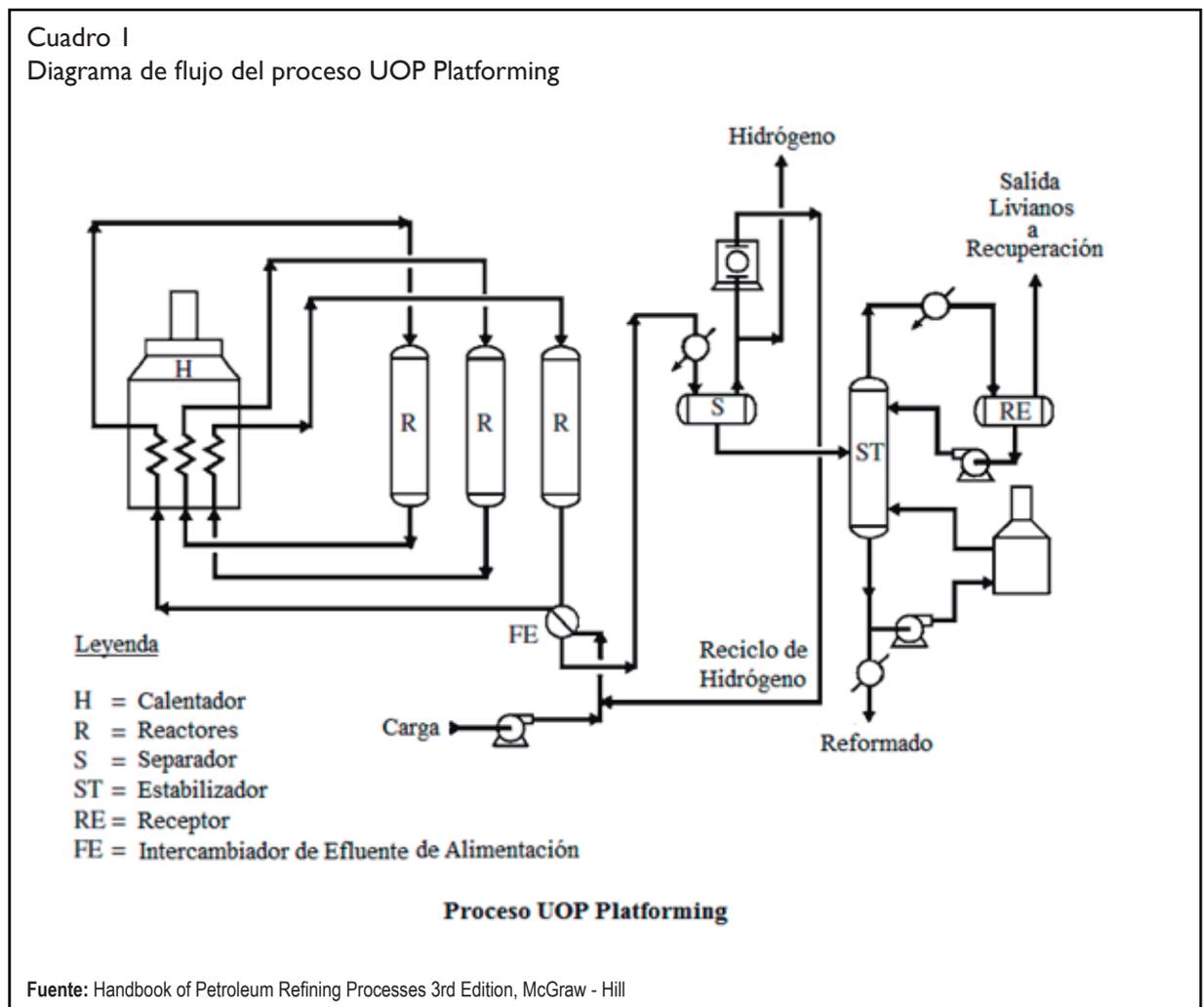
La materia prima típica para la reformación son naftas pesadas de primera destilación (HSR), corte de nafta 82-190°C y nafta pesada de hidrocraqueo. Esta nafta proviene de una unidad de destilación de crudo, cuyo producto debe ser enviado a unidad de hidrot ratamiento previamente para eliminar contaminantes como metales, hidrógeno, azufre, amoníaco y compuestos orgánicos de nitrógeno y azufre. De esta destilación se obtienen dos corrientes: una superior de nafta liviana, que es enviada a la unidad de isomerización, y una inferior de nafta pesada que constituye la principal alimentación del reformado catalítica y de la cual se de-

ben eliminar los hidrocarburos C6 que pueden formar benceno, compuesto que es considerado cancerígeno después de una combustión.

El proceso patentado que se implementó para la nueva unidad de reformación es Platforming, que ya se utilizó en otra unidad de la refinería Gualberto Villaruel establecida en 1949. El Platforming es un proceso de reformación catalítica que utiliza catalizadores que contienen platino para llevar a cabo las reacciones necesarias. Está diseñado para procesar nafta pesada con puntos de ebullición entre 100 y 180°C. También se instaló una unidad Hydrobon, que tiene la función de realizar el hidrot ratamiento previo al ingreso de la carga al reactor. La primera unidad de Platforming instalada en el mundo se realizó en 1949 y pesar de sus continuas mejoras y cambios en su tecnología, catalizadores y mecanismos de operación, es un proceso con bastante de tiempo de implementación y no así uno desarrollado en años recientes.

La isomerización es el proceso en el cual parafinas livianas de cadena lineal de bajo RON (C6, C5 y C4) se

Cuadro I  
Diagrama de flujo del proceso UOP Platforming



transforman con un catalizador adecuado en cadenas ramificadas con el mismo número de carbonos y de alto octanaje (Fundamentals Of Petroleum Refining, 2010). De manera similar a la reformación, se implementan diferentes tipos de catalizadores con el objetivo de generar las reacciones necesarias para la obtención de los productos mejorados. Entre estos se encuentran los denominados zeolitas y el catalizador estándar de platino con una matriz de alúmina clorada. Mediante este proceso es posible alcanzar, con la implementación de reciclaje de alimentación, octanajes de 86 a 93.

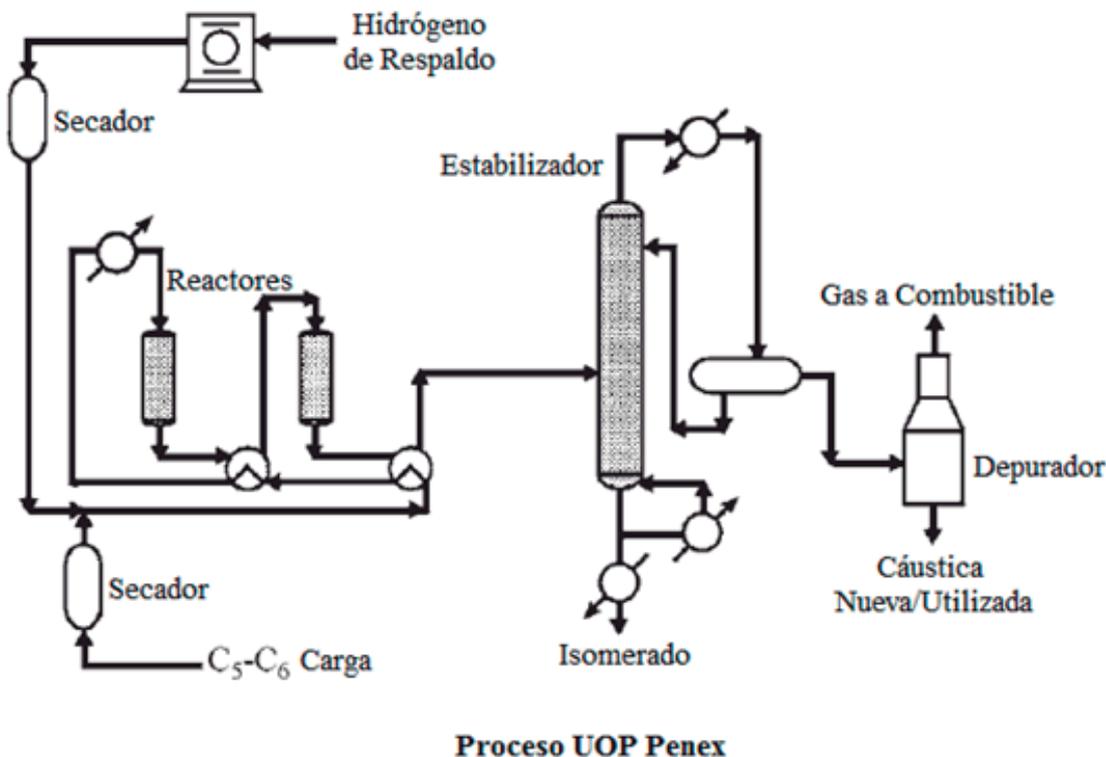
La alimentación de esta unidad consiste principalmente en nafta liviana de primera destilación (C5 - 80 °C) cuya fuente es la unidad de tratamiento con hidrógeno, donde se eliminan las impurezas. Esta carga no podría ser procesada en la unidad de reformación a pesar de que el mecanismo que permite que los compuestos adquieran mayor octanaje es similar en ambos casos, debido a que se provocarían reacciones de craqueo (de cierta manera contraria a la isomerización) y formación de compuestos de benceno, producto con efectos cancerígenos. (Cuadro 2)

La tecnología instalada en la nueva unidad de isomerización es Penex, proceso licenciado, que trabaja con distintos catalizadores para cargas de nafta LSR, principalmente con compuestos C5 y C6. El tipo de catalizador utilizado está en base a platino/clorado y trabaja entre 120 y 180 °C. Para el hidrotratamiento se cuenta con una unidad NHT instalada como parte de la unidad de isomerización. Este proceso se consolidó para ser implementado a partir de que se demostró comercialmente la confiabilidad de su catalizador para la isomerización de compuestos C5 y C6 en 1969.

**OBJETIVOS OFICIALES E IMPLEMENTACIÓN DE LAS INNOVACIONES EN LAS REFINERÍAS DE YPFB**

Con el objetivo de disminuir la subvención que existe actualmente en el país mediante el incremento de la producción de gasolina y diésel en las refinerías que permitan cubrir la demanda interna y eventualmente alcanzar la autosuficiencia, el gobierno nacional planteó y puso en marcha la construcción de nuevas unidades de refinación y procesamiento: Unidad de Crudo y Reformación

Cuadro 2  
Diagrama de flujo del proceso UOP Penex (Isomerización)



Fuente: Handbook of Petroleum Refining Processes 3rd Edition, McGraw - Hill

Catalítica en la refinería Gualberto Villarroel, e Isomerización en la refinería Guillermo Elder Bell.

La Nueva Unidad de Reformación Catalítica (NURC) inicia su construcción en septiembre de 2014 con una inversión, señalada inicialmente, de 108.8 millones de dólares con una proyección de producción de 25 millones litros de gasolina por mes y una finalización de las obras a finales del 2015 e inicio del 2016. Según auditorías anuales y rendiciones de cuentas presentadas por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) para noviembre de 2015, la unidad de Reformación Catalítica contaba una ejecución física del 98,69% conformada y el 18 de diciembre del mismo año se inaugura la planta con una inversión final de 116.5 millones de dólares y una proyección en la producción de 22.5 millones de litros de gasolina especial al mes y 15 toneladas métricas día de gas licuado de petróleo. El objetivo principal, y como se indica en la definición de la unidad, es el de “producción de gasolina reformada de alto octanaje (95 RON) para elaborar

mayores volúmenes de gasolina especial de 85 octanos a fin de garantizar el normal y continuo abastecimiento de este producto en el mercado interno”, según señaló el presidente del Estado, además de un beneficio económico de 94 millones de dólares por año.

La Nueva Unidad de Isomerización (NUIS) inició su construcción de forma paralela a la Unidad de Reformación Catalítica, con una inversión estimada de 95.7 millones y una proyección en la producción de 15 millones de litros de gasolina. En informes anuales presentados por YPF para noviembre del 2015, la unidad contaba con un avance físico de 92,71% conformado cuya finalización estaba proyectada para el primer trimestre de este año. El 6 de enero inicia operaciones con una inversión final de 110 millones de dólares y una producción estimada de 12.5 millones de litros de gasolina especial por mes y un beneficio económico de 53.04 millones de dólares por año.

Los datos de producción de gasolina especial y capacidad de procesamiento por refinería (primera columna), sin tomar el adicional con las nuevas unidades, fueron extraídos del informe presentado por la ANH para el año 2015, pero se asume que los niveles de producción no varían en magnitud considerable en relación con el año 2016. Las capacidades de procesamiento se refieren al volumen de gasolina mediana y liviana (MSR y LSR), que son las alimentaciones correspondientes a cada unidad, que ingresan a los reactores. El rendimiento es el volumen de alimentación que ha sido transformado (reformado o isomerizado) a una carga con mayor octanaje, cuyo valor para cada unidad nueva se obtiene a partir de la información proporcionada por YPF Refinación S.A. La corriente de salida de las unidades es un producto intermedio que es utilizado para la preparación de gasolina especial, por lo tanto, su valor no refleja o indica el volumen de



**Cuadro 3**  
Resultados de las innovaciones

	Producción Gasolina Especial (BPD)	Capacidad de Procesamiento (BPD)	Capacidad Nueva Unidad (BPD)	Rendimiento Nueva Unidad (BPD)	Producción Nueva Unidad (BPD)	Capacidad Total (BPD)	Producción Total (BPD)
Gualberto Villarroel	10,058.58	8,137(*)	5,300	4,240	4,717(**)	13,437	14,710.94
Guillermo Elder Bell	7,819.85	6,700(*)	6,000	5,742	2,620.54(**)	12,700	10,404.50
Oro Negro	961.35	-	-	-	-	-	961.35
Total	18,839.78	14,837(*)	11,300	9,982	7,337.54(**)	26,137 (-)	26,177.32(***)

**Notas:** \* Sólo incluyendo unidades señaladas en memoria anual YPF Refinación S.A. 2014

\*\* Teórico, expectativa de producción

\*\*\* Cálculo teórico

**Fuente:** Elaboración Propia

gasolina especial que la refinería es capaz de producir de manera directa, ya que en el proceso de preparación intervienen otros componentes en volúmenes variables de cuya mezcla se obtiene dicho combustible. No existen datos de la producción actual específica para cada una de las unidades, los valores presentados en la tabla se presentan en función a las expectativas de producción planteadas en los proyectos y un cálculo realizado a partir de la información presentada por YPFB mediante una solicitud formal.

Según información oficial publicada en medios de comunicación, con la implementación de estas unidades se habría alcanzado una producción adicional de gasolina especial de 5,543 BPD o 26.441 millones de litros por mes, dato que se obtiene a partir del valor registrado como récord en julio del presente año de 120,183,356 litros en un mes, equivalentes a aproximadamente 24,383 BPD, que en comparación al dato similar para el mes de mayo mostraría un incremento paulatino.

El rendimiento de ambas unidades puede medirse en función a varios parámetros, pero principalmente en función al volumen de producto reformado o isomerizado, respectivamente, obtenido a partir de una carga determinada, y la calidad de los mismos evaluada a partir de su composición ya que esto definirá las características tales como el octanaje, que son las que se buscan obtener para que el combustible cumpla su función de la manera más óptima posible, atendiendo a los requerimientos mínimos exigidos por normas de calidad. Debido a la falta de información y datos específicos, a pesar de haber seguido los procedimientos formales para su solicitud a las entidades competentes, la calidad de los productos obtenidos en las nuevas unidades no puede ser evaluada mediante métodos teóricos y otros de análisis, que pueden encontrarse en

una extensa bibliografía y memorias de proceso de unidades de la misma naturaleza instaladas en diferentes partes del mundo.

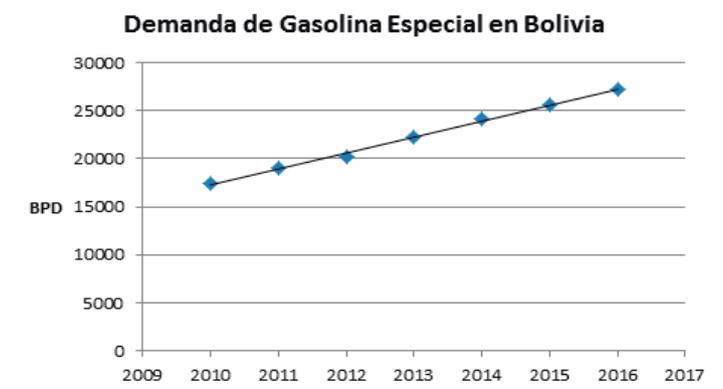
A partir de una investigación y análisis de diferentes datos, se busca medir el rendimiento en la producción de gasolina especial evaluando los volúmenes producidos tanto en cada una de las nuevas unidades como en las unidades con las que el conjunto de refinerías ya contaba, y compararlos con la demanda actual del carburante en el país. El beneficio económico principal que se planteó alcanzar es el ahorro obtenido de la disminución de los volúmenes de gasolina especial importados para cubrir la demanda y su subvención, al cual debe restarse el costo de obtención mediante las nuevas unidades y la inversión inicial realizada para su construcción, para de esta manera realizar un análisis económico general de rentabilidad.

La proyección en la demanda de gasolina especial para el año en curso se realiza utilizando datos obtenidos en informes estadísticos anuales presentados por YPFB y asumiendo una tasa de crecimiento constante, es decir, un incremento lineal.

## CONCLUSIONES

Los proyectos se concluyeron a finales del año 2015 e iniciaron su funcionamiento a inicios de este año cumpliendo, cercanamente, con los plazos propuestos, pero con un excedente de 8 millones de dólares en la unidad de reformación catalítica y 14 millones de dólares en la unidad de isomerización, respecto de las inversiones que habían sido previstas para su construcción y puesta en marcha. Se buscaba obtener un promedio de 35 millones de litros por mes adicionales a la producción previa de gasolina especial, pero hasta la actualidad se alcanzó sólo el 75% aproximadamente

**Cuadro 4**  
Demanda de Gasolina Especial en Bolivia



Fuente: Elaboración Propia



de esta expectativa y el 66% en relación a los valores proyectados (40 millones de litros al mes) al aprobar su construcción.

En comparación a la demanda actual del carburante, que mediante la proyección lineal en base a los datos obtenidos de años anteriores y que alcanza un valor de 27,290 BPD, existiría aún un déficit de 2,910 BPD o 13,880,700 litros por mes que constituirían un aproximado de 29.6 millones de dólares de gasto en subvención a la importación necesaria sólo para el segundo semestre del año en curso de mantenerse una producción mensual uniforme, cifras que podrían ser de mayor magnitud respecto de los calculados con la proyección lineal y datos oficiales de precios de importación, ya que en una nota de prensa publicada en diciembre del 2015 se indicaba una demanda interna cerca de 140 millones de litros por mes, equivalentes a un promedio de aproximadamente 29,000 barriles por día para el segundo semestre de ese año.

Según el informe anual de la Agencia Nacional de Hidrocarburos para el año 2016, la producción de gasolina especial habría alcanzado un total de 24,511 BPD en promedio, mientras que la demanda para ese año ascendió a 28,374 BPD, dejando un déficit de 3863 BPD o 18,426,510 litros por mes. En una nota de prensa publicada el 31 de agosto, personal de YPF se señalaba un incremento en la producción del combustible a

junio de este año, alcanzando un volumen de 3,603 metros cúbicos por día, equivalentes a aproximadamente 22660 BPD.

Por lo tanto, la capacidad de producción incluyendo la alcanzada con las nuevas unidades aún no convierte al país en autosuficiente en gasolina especial. Comparando con el dato anterior se muestra un crecimiento paulatino de la producción, de mantenerse así, dentro de los porcentajes de incremento, sería posible alcanzar la autosuficiencia del combustible a finales del presente año, meta que había sido planteada alcanzar el año 2015 pero que aún no se ha logrado y que, con la creciente demanda, aún si se alcanzara la producción proyectada, esta no llegaría a cubrir la correspondiente al siguiente año y los próximos.

La rentabilidad de estos proyectos puede medirse en función al notable incremento en la producción del combustible, la soberanía sobre el volumen del mismo y el ahorro en importación y subvención, pero se debe recalcar —además de un déficit en combustibles que mantiene un incremento mayor al regular con los años y que el actual no llegó a ser cubierto en base a los cálculos presentados— que los volúmenes de líquidos dentro de las reservas nacionales de hidrocarburos serán capaces de alimentar a las refinerías y unidades de procesamiento durante nueve años o menos, debido al ritmo de producción y de recepción

de los mismos en los complejos y a la imposibilidad natural de extraer estos fluidos en su totalidad de las formaciones geológicas que los alojan. Este valor se calcula utilizando la información oficial presentada en informes anuales de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y los datos de las reservas certificadas actuales, aclarando que a pesar de la oferta planteada por el gobierno de alcanzar 17.45 TCF de gas natural y 411 millones de barriles de hidrocarburos líquidos en reservas hasta el 2020, se declaró inviable por estudios realizados que señalan que el descubrimiento de nuevas reservas y su puesta en producción tomaría un mínimo de siete a diez años. Por lo tanto, la medida tomada por el gobierno actual con la implementación de estas nuevas unidades, con los beneficios generados y repercusiones, no es suficiente para cumplir las metas planteadas.

