

# **Análisis económico del consumo de gas natural para generación de energía eléctrica en México: 2005-2014**

## ***Ignacio Manuel Zárate Martínez***

Tesman Electric de México SA de CV  
ignacio.construccion@tesman.com.mx

## ***Eugenio Guzmán Soria***

Instituto Tecnológico de Celaya  
eugenio.guzman@itcelaya.edu.mx

## ***Juvencio Hernández Martínez***

Centro Universitario UAEM Texcoco  
jhmartinez1412@gmail.com

## ***Samuel Rebollar Rebollar***

Centro Universitario UAEM Temascaltepec  
srebollarr@uaemex.mx

## **Resumen**

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de un análisis económico realizado al consumo de gas natural para la generación de energía eléctrica en México con información anual de 2005 a 2014. Entre los resultados que se encontraron, es que el consumo citado en el país es inelástico (-0.0461); en la actualidad el combustóleo y el diesel son las fuentes alternas directas al gas natural para generación de energía eléctrica en México, no son sustitutos reales. El diesel no puede competir en costos por kW/h generado al gas natural y el combustóleo lo hace, pero genera altas emisiones de contaminantes.

Palabras clave: Gas natural, consumo, modelo econométrico.

## **1. Introducción**

En los últimos años, a nivel internacional se han presentado grandes incrementos

en el consumo de gas natural, todo esto a partir de los grandes beneficios ambientales y económicos, comparado con el uso de otros combustibles.

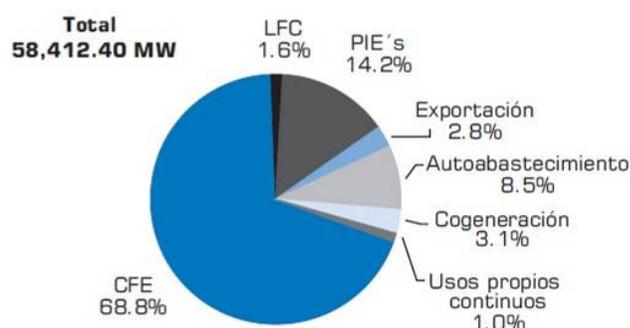
“El consumo mundial de gas natural fue de 266,031 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd) durante 2005, mayor en 2.0% respecto a 2004 y en 27.7% que hace una década. El mercado de consumo de gas natural en el mundo se concentró en las regiones de Europa y Euroasia, Norteamérica y Asia Pacífico, ya que consumieron 83.8% de la demanda global. Las reservas mundiales de gas natural permanecieron prácticamente sin cambio en 2005, ya que reportaron un ligero ascenso de 0.5% respecto al año anterior, para totalizar 6,348 billones de pies cúbicos (bpc); mientras que la producción mundial de gas seco alcanzó un nivel de 267,327 mmpcd en el mismo año. Así, la relación mundial de reservas de gas natural respecto a los niveles actuales de producción (R/P) es de 65.1 años, en tanto que la de petróleo es de 40.6 años” (SENER, 2006).

Manejo seguro, alta eficiencia, emisiones contaminantes ultra bajas. Uso del gas natural en México. Una alternativa realmente factible que será capaz de sustituir el uso masivo del carbón, petróleo y derivados. Esto representa un impulso notable en la economía actual, industrial y eléctrica, al emigrar a tecnologías con uso de gas natural. Es de vital importancia la actualización en infraestructura para distribución y transporte de gas natural la cual es añeja. Actualmente aun es utilizada de sobremanera la generación eléctrica a partir combustibles derivados del petróleo tales como el combustóleo y el diesel. Inicialmente para estas tecnologías con los primeros años del gas natural, los sistemas bi-fuel fueron una extraordinaria opción de mejora en el rendimiento y reducir emisiones, sin necesidad de realizar grandes cambios los sistemas de Moto generación (SENER, 2006). Actualmente no se ha podido concientizar totalmente a la población en el uso de este recurso abundante en nuestro país, sus ventajas y su eficiencia. Es necesaria la apertura de foros acerca del uso de este combustible amigable con el medio ambiente y que la población analice y acepte el beneficio que trae en todos los aspectos relevantes como la economía, seguridad y medio ambiente. Día a día va tomando fuerza este punto.

Para el sector energético: La Comisión Federal de Electricidad (CFE) da aplicación

del gas natural para sus usos combinados de generación de energía eléctrica, ellos son los mayores consumidores sin que los campos de cogeneración, trigeneración y ciclos combinados y el uso eficiente en los hogares sean conocidos a profundidad, aproximadamente existen unos 22 millones de usuarios de gas LP por solo 2 millones de NG, aún hay mucho camino por recorrer (SENER, 2006).

En base a datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), actualmente existe una capacidad instalada de 58,412.40 Megawatts (MW) utilizada para generar electricidad en México. Este es el agregado de las capacidades autorizadas a permisionarios por la CRE, bajo las distintas modalidades permitidas por el marco legal vigente, así como por la capacidad de placa para el servicio público de energía eléctrica (SENER, 2006).



Fuente: SENER, 2006.

Figura 1 Distribución de la generación de electricidad en México, 2005.

Aun cuando está establecida que la generación, transmisión y distribución de energía para el suministro público es únicamente mediante la Comisión Federal de Electricidad, se han abierto otras opciones debido a la saturación de las líneas de la CFE ante el incremento de usuarios y con la intención de incrementar la oferta del servicio eléctrico. La Cogeneración, autoabastecimiento, importación y exportación (SENER, 2006).

Actualmente la generación se realiza a través de las tecnologías disponibles en nuestro país, figuras 2 a la 7. El autoabastecimiento y cogeneración está tomando fuerza debido a las concesiones y apoyos por parte del gobierno Mexicano, así mismo debido a los bonos de carbono y las certificaciones en industria limpia. Los consumos de gas se han incrementado en este sector.



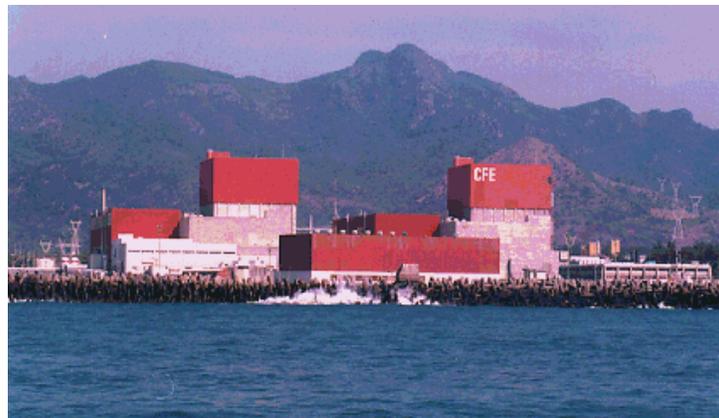
*Fuente: ICA, 2012.*

Figura 2 Proyecto Hidroeléctrico "La Yesca", 2012.



*Fuente: IIE, 1998.*

Figura 3 Central Termoeléctrica, Salamanca, Gto. 1998.



*Fuente: Protección Civil Veracruz, 2015.*

Figura 4 Central Nucleoeléctrica. Veracruz, 2007.



Fuente: *El Universal*, 2012.

Figura 5 Complejo eólico Eurus, Oaxaca, 2012.



Fuente: *El Economista*, 2011.

Figura 6 Campos solares, Agua Prieta, Sonora, 2011.



C65 Microturbines

Fuente: Capstone, 2015.

Figura 7 Microturbinas Capstone, gas natural y ultra bajas emisiones, 2013.

Este trabajo tuvo como finalidad analizar los factores que determinan el consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México para el sector público y privado; así mismo calcular la elasticidad precio propia respectiva. Cabe resaltar que el presente análisis pretende aportar información para la toma de decisiones en cuanto al consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México. La hipótesis de investigación es que el consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México es inelástico.

## 2. Metodología

### Formulación Teórica del Modelo

Para el alcance del objetivo planteado y poner a prueba la correspondiente hipótesis se formuló un modelo econométrico, que involucró las siguientes variables y conversiones con el propósito de homogeneizar la información:

- **QCNG:** Cantidad demandada de gas natural en  $\text{ft}^3$  para la generación de electricidad en México (0.293 kW/h).
- **PCNG:** Precio al consumidor de consumida gas natural para generación eléctrica, en el año  $t$ , ( $\$/\text{ft}^3 \times 0.293 \text{ kWh}$ ). Se encontró en la cantidad de  $1\text{ft}^3 = 0.293 \text{ kWh}$  dada las conversiones siguientes:  $1 \text{ kW/h} = 3,600 \text{ joule}$ ;  $1 \text{ caloría} = 4.1868 \text{ joule}$ ;  $1\text{MMBtu} = 992.38 \text{ ft}^3 \text{ NG} = 252\,000\,000 \text{ calorías}$ .
- **PYDIESEL:** Se determinó el precio al consumidor de Diesel en litros para cada 0.293 kW/h ( $\$/\text{litro} \times 0.293 \text{ kWh}$ ). [ $1\text{m}^3 \text{ NG} = 35.3146 \text{ ft}^3 \text{ NG} = 0.26 \text{ Galones Diesel}$ ;  $1 \text{ Gal} = 3.7854 \text{ l}$ ]. Por lo tanto:  $35.3146 \text{ ft}^3 \text{ NG} = 0.9842 \text{ l diesel} \Rightarrow 0.27 \text{ l} \times 0.293 \text{ kW/h}$
- **PYCOMBUSTOLEO:** Se determinó el PRECIO AL consumidor de combustóleo en litro para cada 0.293 kW/h ( $\$/\text{litro} \times 0.293 \text{ kWh}$ ). [ $1 \text{ Barril Combustóleo} = 158.987 \text{ lts}$ ;  $1\text{Barril} = 6783 \text{ ft}^3 \text{ NG} = 1\text{ft}^3 \text{ NG} = 0.293 \text{ kWh}$ :  $0.23 \text{ l} \times 0.293 \text{ kW/h}$ ].
- **QCNGL:** Cantidad consumida de gas natural en  $\text{ft}^3$  para la generación de electricidad en México con un año de rezago ( $\text{ft}^3 \times 0.293 \text{ kWh}$ ).

Los precios originalmente en base a la información encontrada fueron en USD por MMBtu (SE, 2015) así que se realizó la conversión con base a la paridad con el peso mexicano en función del tipo de cambio promedio histórico (TC) reportado por el Banco de México, posteriormente se usó el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) para obtener las variables monetarias en términos reales:

- **PCNGR**: Precio al consumidor de gas natural real, en año t ( $\$/\text{ft}^3 \times 0.293 \text{ kWh}$ ).
- **PCNGR2L**: Precio al consumidor de gas natural real, en año t-2 ( $\$/\text{ft}^3 \times 0.293 \text{ kWh}$ ).
- **PYDIESELR**: Precio al consumidor de Diesel real, en año t ( $\$/\text{litro} \times 0.293 \text{ kWh}$ ).
- **PYCOMBUSTOLEOR**: Precio al consumidor del combustóleo real, en año t ( $\$/\text{litro} \times 0.293 \text{ kWh}$ ).
- **PYCOMBUSTOLEORL**: Precio al consumidor del combustóleo real, en año t-1 ( $\$/\text{litro} \times 0.293 \text{ kWh}$ ).

La relación funcional del consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México, fue establecida como sigue:

$$QCNG = f(PCNG2L, PYDIESELR, PYCOMBUSTOLEORL, QCNGL)$$

Fuentes de información de las variables del modelo:

- **QCNG**: Secretaria de Energía (SENER), 2006.
- **PCNG**: Secretaria de Economía (SE), 2015.
- **PYDIESEL**: De 2007 al 2015 su fuente fue la AMEG (2014) y 2005-2006 se completó aplicando la variación anual el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC).
- **PYCOMBUSTOLEO**: Los precios de 2013 y 2014 se obtuvieron de PEMEX (2014). El periodo de 2005-2012 se completó aplicando la variación anual el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC).
- **INPC**: Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI-BIE, 2015).
- **TC**: Banco de México (BM), 2015.

### **Método de estimación y congruencia estadística del modelo**

De acuerdo con el modelo propuesto, los valores de los parámetros fueron estimados por medio del método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) usando la herramienta del modelo de regresión del paquete computacional Minitab en su versión 16.

La congruencia estadística del modelo se validó por medio del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que indica la bondad del ajuste de la ecuación de regresión establecida y la significancia individual de cada coeficiente, con la  $t$  de Student o la “razón de  $t$ ”; y, en lo económico se validó el modelo de acuerdo con los signos esperados por la teoría económica de la demanda (Samuelson y Nordhaus, 2010).

## **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **Análisis Estadístico**

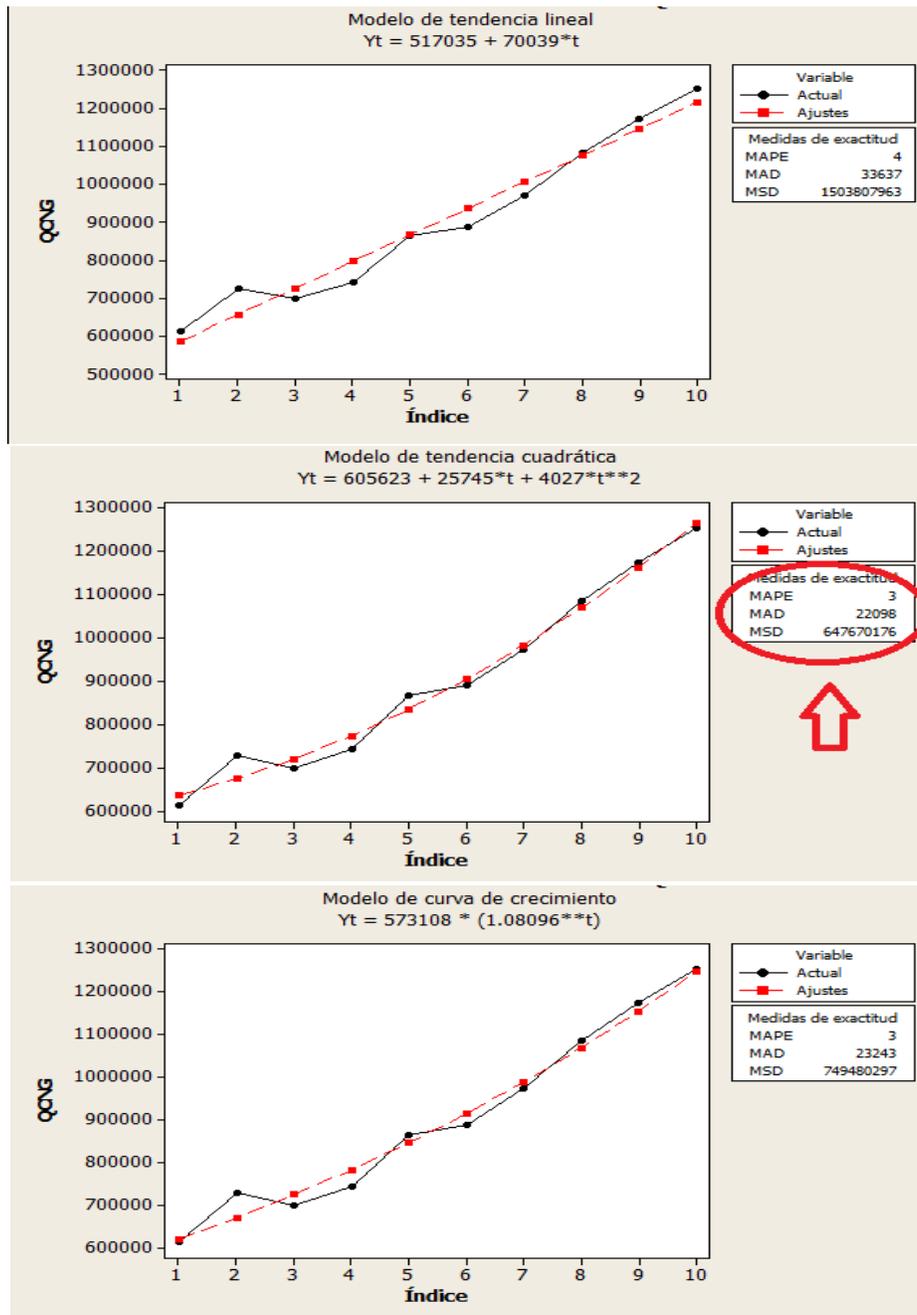
Se realizó el análisis de tendencia utilizando los métodos Lineal, Cuadrático y de Crecimiento Exponencial para las series de tiempo de las variables QCNG y PCNGR:

- a) Al comparar los tres métodos para la variable QCNG se encontró un valor menor para las medidas de exactitud MAPE (Porcentaje promedio absoluto de error), MAD (Desviación media absoluta) y MSD (Desviación cuadrática media) con el método cuadrático, mostrando una tendencia ascendente en el pronóstico, por lo que con base en esta herramienta de pronóstico se esperaría un aumento en el consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México (figura 8).
- b) Para la variable PCNGR se encontró un valor menor de las medidas de exactitud: MAPE, MAD y MSD; en el método cuadrático, mostrando una tendencia descendente en el pronóstico (figura 9).

### **Análisis determinístico**

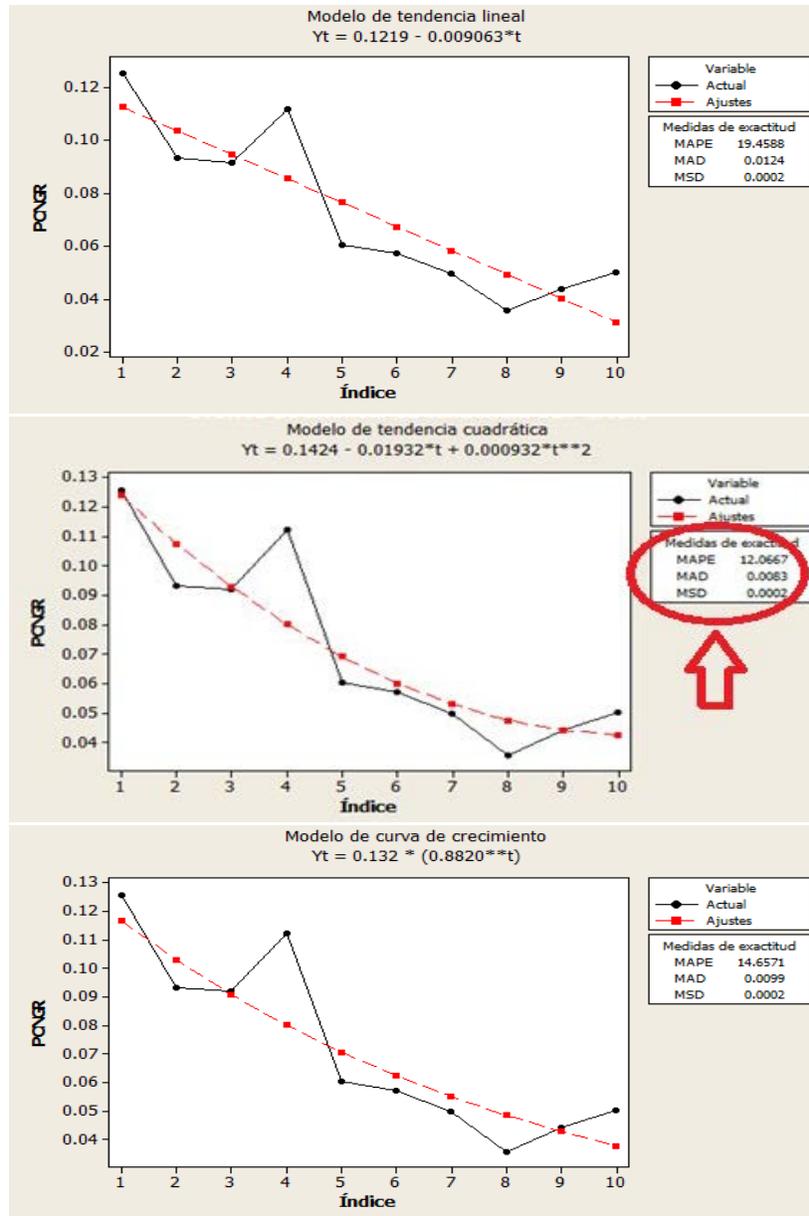
La ecuación de regresión del modelo empírico, citado en la metodología, en su forma estructural presentó una mediana bondad de ajuste con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ajustado) de 98.5%, los valores obtenidos de la razón de  $t$  o  $t$  de

Student para las variables explicativas resultaron ser mayores o cercanos a la unidad en términos absolutos, lo cual indica que éstas son estadísticamente significativas a nivel individual y que por ende explican a la variable dependiente o endógena correspondiente (tabla 1).



Fuente: Salida de Minitab 16.

Figura 8 1 Análisis de tendencia: QCNG.



Fuente: Salida de Minitab 16.

Figura 9 Análisis de tendencia: PCNGR.

Tabla 1 Modelo de Regresión.

La ecuación de regresión es:  
 $QCNG = -72881-531468 PCNGR2L+3234525 PYDIESELR+512240PYCOMBUSTOLEORL+0.201 QCNGL$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	-72881	218051	-0.33	0.76
PCNGR2L	-531468	762401	-0.7	0.536
PYDIESELR	3234525	1249290	2.59	0.081
PYCOMBUSTOLEORL	512240	555119	0.92	0.424
QCNG	0.2006	0.2496	0.8	0.48

R-cuad. = 99.4% R-cuad.(ajustado) = 98.5%

Fuente: Salida de Minitab 16.

## Análisis económico

La evaluación económica de los resultados se llevó a cabo al considerar tanto los signos como la magnitud de los parámetros estimados. En este caso, los signos de la ecuación estimada deben concordar con los fundamentos de la teoría económica de la demanda, y en el segundo caso, la magnitud de los parámetros se complementa con el cálculo de los coeficientes de las correspondientes elasticidades, cuyo orden de magnitud también deben estar acorde con lo indicado por la teoría económica.

Los signos esperados de la ecuación que conforman el modelo estructural (tabla 1) coinciden con lo esperado por la teoría económica de la demanda. Además de los signos esperados, lo más importante es medir la magnitud de los cambios que ocurren en la variable dependiente ante las variaciones, *ceteris paribus*, de cada una de sus variables explicativas, análisis que se lleva a cabo con base en los coeficientes de las elasticidades económicas correspondientes. Para calcular las elasticidades se utilizaron los valores medios de las variables involucradas en el modelo.

Usando la información estadística del modelo econométrico aplicado al consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México, en las tablas 2 y 3 se presentan los resultados económicos:

Tabla 2 Resultados del análisis económico.

Función de demanda	$QCNG = -72881-531468 PCNGR2L+3234525 PYDIESELR+512240 PYCOMBUSTOLEORL+ 0.201 QCNGL$
Función de la demanda precio (demanda ordinaria)	$QCNG = 956029.5 - 531,468 PCNGR2L$
Función de demanda precio cruzada con respecto al diesel	$QCNG = 150,097.3 + 3,234,525 PYDIESELR$
Función de demanda precio cruzada con respecto al combustóleo	$QCNG = 823,293.1+512,240 PYCOMBUSTOLEORL$

Fuente: Elaboración propia con información de la tabla 1.

Cabe resaltar que en febrero del 2014 se presentó un incremento en el precio del gas natural del 82%, de presentarse hoy en día un incremento similar se tendría una

reducción de 3.78 % en el consumo del gas para la generación eléctrica en México. Por otro lado, debido al incremento en la demanda del gas natural por el sector petrolero, su disponibilidad para la generación eléctrica podría reducirse durante los próximos años. Suponiendo una reducción de 1.35% en la disponibilidad citada, repercutiría en un alza en el precio del gas natural en el orden de 29.28%.

Tabla 3 Elasticidades de corto plazo.

Tipo	Resultado	Clasificación del servicio	Interpretación
Elasticidad precio propia de la demanda.	-0.0461	El consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México es inelástico.	El consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica se reduce en 0.0461% ante un aumento en el precio real del gas natural de 1%, <i>ceteris paribus</i> .
Elasticidad precio cruzada de la demanda del consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México, con respecto al precio del diesel.	0.8471	El diésel es un bien sustituto al gas natural en la generación de energía eléctrica en México.	Ante un incremento del 1% en el precio real del diesel se incrementa en .85% el consumo de gas natural para la generación eléctrica en México.
Elasticidad precio cruzada de la demanda del consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México, con respecto al precio del combustóleo.	0.1009	El combustóleo es un bien sustituto al gas natural en la generación de energía eléctrica en México.	Ante un incremento del 1% en el precio real del combustóleo se incrementa en 101% el consumo de gas natural para la generación eléctrica en México.

Fuente: Elaboración propia con información de la tabla 1.

#### 4. CONCLUSIONES

Los factores que determinan el consumo del gas natural para la generación de energía eléctrica en México para el sector público y privado; son el precio propio al consumidor, el precio del diésel y del combustóleo. Así mismo se comprueba que la elasticidad precio propia del consumo de gas natural para la generación de energía eléctrica en México es inelástica (-0.0461).

Los costos de producción por cada 0.293 kW/h son más bajos al usar el gas natural como fuente en la generación de energía eléctrica en México, en comparación ante el uso de combustóleo y diésel (en ese orden de importancia para el fin citado).

Dentro de la zona Bajío, los resultados empíricos del modelo econométrico analizado, coinciden con el comportamiento de estos tres combustibles: gas natural, combustóleo y diésel. El alza registrada en los precios del Diesel hacen cada vez más caro el costo de producción por kW/h generado, el combustóleo se equipara en precio al gas natural, pero al ser sus emisiones de contaminantes (durante el proceso de generación) muy altas se ha disminuido su uso para la generación eléctrica en el país.

En la zona Bajío se está llevando a cabo la migración a sistemas bi-fuel, es una gran opción para minimizar el consumo de diesel e incrementar notablemente el consumo de gas natural, aunque cabe resaltar que hasta la fecha esto no ha repercutido de forma significativa en el precio del gas natural.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] AMEG (Asociación Mexicana de Empresarios Gasolineros AC). 2014. Aumentos para el 2015: <http://www.amegas.net/PRECIOS.pdf>.
- [2] BM (Banco de México). 2015. Tipo de cambio para solventar obligaciones pagaderas en moneda extranjera: Fecha de liquidación: <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CF86&sector=6&locale=es>.
- [3] INEGI-BIE (Instituto Nacional de Estadística y Geografía - Banco de Información Económica). 2015. Índice Nacional de Precios al Consumidor: <http://www.inegi.org.mx/>.
- [4] Minitab 16. Herramientas: Series de tiempo y regresión. Minitab Inc., 2011.
- [5] PEMEX (Petróleos Mexicanos). 2012. Métodos y factores de conversión: [http://www.pemex.com/acerca/informes\\_publicaciones/Documents/memorias/2010/11.%20Metodos%20y%20Factores%20de%20Conversion.pdf](http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/memorias/2010/11.%20Metodos%20y%20Factores%20de%20Conversion.pdf).
- [6] PEMEX (Petróleos Mexicanos). 2014. Indicadores petroleros, precio al público de productos petrolíferos: <http://ri.pemex.com/files/dcpe/petro>

/epublico\_esp.pdf.

- [7] Samuelson, P. A.; Nordhaus, W. D. (2010). *Microeconomía con aplicaciones a Latinoamérica*. 19. Edición. McGraw-Hill, México D. F. p. 403.
- [8] SENER (Secretaria de Energía). 2006. Prospectiva del mercado de gas natural 2006-2015: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/ProspGasNatural2006.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/ProspGasNatural2006.pdf).
- [9] SE (Secretaria de Economía). 2015. Seguimiento precio de gas natural-Datos: <http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/energeticos/precios/701-seguimiento-precio-gas-natural-datos.html>.
- [10] ICA (Ingenieros Civiles Asociados). 2012. Informe de sustentabilidad: <http://ica.2012.33aws.com/ids-innovacion.html#0>.
- [11] IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas), 1998. Central Termoeléctrica, Salamanca, Gto: <http://www.iie.org.mx/publica/infanu98/2inf98.htm>.
- [12] Protección Civil Veracruz. 2015. Central Nucleoeléctrica. Veracruz: <http://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/pere/>.
- [13] El Universal. 2012. Acciona incrementará su participación eólica en México: <http://www.eluniversal.com.mx/notas/834555.html>.
- [14] El Economista. 2011. En Sonora primera planta solar de la CFE: <http://eleconomista.com.mx/industrias/2011/06/09/sonora-primer-planta-solar-cfe>.
- [15] Capstone (Capstone Turbine Corporation). 2015. High demand no problema: <http://www.capstoneturbine.com/>.