

Análisis de la Participación de la Energía Nuclear en la Planeación Eléctrica en México

Ulises Adair Hernández Hurtado, Cecilia Martín del Campo

Facultad de Ingeniería, UNAM

Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México

uahh_123@hotmail.com; cmcm@fi-b.unam.mx

Resumen

En los últimos años se ha realizado un esfuerzo en México y en el mundo para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (EGEI) y al mismo tiempo abastecer el aumento en el consumo de energía a nivel mundial. En este contexto, el sector eléctrico en México es clave en el cumplimiento de compromisos y metas de reducción de EGEI al contribuir con más del 20% de éstas. La energía nuclear debe tener un papel fundamental en la expansión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), ya que permite generar grandes cantidades de electricidad por largos periodos de tiempo sin emisiones de gases contaminantes. Con base en lo anterior, se determinó investigar las principales características con las que debe contar la tecnología nuclear para ser considerada como una solución real en garantizar el abasto de electricidad de forma continua, segura, económica y con la menor cantidad de EGEI posible. Sin embargo, las centrales de ciclo combinado son la principal opción para cubrir con estas necesidades de acuerdo con la política nacional actual, por lo que en este trabajo se realizó una extensa comparativa técnica, económica y de seguridad entre las tecnologías de ciclo combinado y nuclear a fin de conocer la tecnología que debe tener una mayor participación en la planeación del SEN en las próximas décadas. Así, se elaboraron cinco escenarios de precios para el gas natural y gas natural licuado de importación, con el fin de conocer el costo que generaría continuar con la política actual de uso de centrales de ciclo combinado como base de generación eléctrica y si este costo justificaba en primera instancia el aumento de capacidad nuclear en el país. Los resultados mostraron que es necesario cambiar la principal fuente de generación de energía en México a fin de tener un sistema eléctrico confiable, seguro, económico y limpio.

1. INTRODUCCIÓN

El sector eléctrico ha tenido una reestructuración en los últimos años debido a la necesidad de garantizar la calidad, confiabilidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en las actividades de generación, transmisión y distribución. Esta reestructuración incluye al sector público como al privado, otorgando a cada una de las partes diversas funciones y responsabilidades que permitan el desarrollo del SEN y por ende el desarrollo económico del país.

El 24 de diciembre de 2015 se publicó la Ley de Transición Energética (LTE) por medio de la cual se pretende regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes derivados de la actividad en la Industria Eléctrica. En esta ley se tocan puntos de gran relevancia para la planeación del sector eléctrico a corto, mediano y largo plazo, de igual forma se establecen las metas de participación mínima de Energías Limpias para la generación eléctrica en un 25%, 30% y 35% para 2018, 2021 y 2024 respectivamente [1].

Por otra parte, define tres instrumentos de planeación de la política nacional en materia de energías limpias y eficiencia energética, como la Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios, el Programa especial de la transición energética y el Programa nacional para el aprovechamiento sustentable de la energía. Dentro de los principales puntos que se integran en esta ley encontramos que la estrategia deberá establecer metas a fin de que el consumo de energía eléctrica se satisfaga mediante un portafolio de alternativas que incluyan a la eficiencia energética y una proporción creciente de generación con energías limpias en condiciones de viabilidad económica, además deberá contener un componente de largo plazo para un periodo de 30 años que defina los escenarios propuestos para cumplir las Metas de Energías Limpias y la Meta de Eficiencia Energética, incluyendo también un componente de planeación de mediano plazo para un período de 15 años. Por lo cual, se dispone que, para cumplir con estos objetivos, la Secretaría de Energía deberá recurrir a reconocidos expertos en la materia, quienes estudiarán y aportarán la información necesaria para el diagnóstico.

2. LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

2.1. Infraestructura actual del Sistema Eléctrico Nacional

De acuerdo con el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2030 (PRODESEN 2016-2030), en 2015 la capacidad instalada del SEN fue de 68,044 MW, de los cuales, el 71.7% correspondía a centrales eléctricas convencionales y el 28.3% a centrales eléctricas con tecnologías limpias. Las tecnologías limpias registraron un crecimiento anual de 6.9% al cierre de 2015, como resultado de la instalación de nuevas centrales eólicas y geotérmicas, cuya expansión en comparación con el año previo, fue de 37.7% y 13.8%, respectivamente. En 2015 se generaron 309,553 GWh de energía eléctrica, un 2.7% más que en 2014. El 79.7% de la electricidad generada provino de tecnologías convencionales y el 20.3% restante de tecnologías limpias [2].

Durante los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo para que las energías limpias tengan una mayor capacidad instalada en el país, por lo que, las centrales con tecnologías convencionales, principalmente termoeléctrica convencional, dejarán de ser parte del parque eléctrico nacional en los próximos años, teniendo una reducción de casi 11 GW en su capacidad instalada hacia 2030.

Si bien, el uso de gas natural resulta en una menor emisión de gases de efecto invernadero comparado con otro tipo de fuentes de energía como el carbón o los derivados del petróleo, es importante resaltar que el uso de plantas de ciclo combinado también conlleva los problemas derivados del uso de fuentes de energía fósil en el medio ambiente. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta el uso de tecnologías que sean económicamente viables, que otorguen seguridad al SEN y además que sean amigables con el medio ambiente. Para conocer las tecnologías que cumplen con los criterios anteriormente mencionados podemos tomar la definición de energías limpias citada en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) que indica lo siguiente [3]:

“Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Entre las Energías Limpias se consideran las siguientes:

- a) El viento;*
- b) La radiación solar, en todas sus formas;*
- c) La energía oceánica en sus distintas formas*
- d) El calor de los yacimientos geotérmicos;*
- e) Los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos;*
- f) La energía proveniente de centrales hidroeléctricas;*
- g) **La energía nucleoelectrica;**”*

Además, es necesario citar el criterio en el que se determina una tecnología como “Energía Limpia, mencionado en la LTE [1]:

“La eficiencia mínima para que cualquier otra tecnología se considere de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales, o bien, para que la Secretaría de Energía y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales determinen que sean Energías Limpias, se basará en una tasa de emisiones no mayor a 100 Kg/MWh.”

2.2. La energía nucleoelectrica en México

La generación de energía eléctrica por medio de energía nuclear en México está conformada por la Central Nucleoelectrica Laguna Verde, ubicada en el municipio de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, en el Estado de Veracruz. Cuenta con una capacidad actual instalada de 1,610 MW proporcionada por dos reactores nucleares tipo BWR.

La primera unidad inició su operación comercial el 14 de agosto de 1990 y la segunda unidad el 12 de abril de 1995, por lo que se cuenta con al menos 26 años de experiencia en el manejo de este tipo de tecnología.

Las centrales nucleoelectricas tienen un costo de construcción elevado, aunque baratas al ser operadas y, además, los costos por la disposición de los desechos y el desmantelamiento de la planta están incluidos en los costos de generación.

Es de gran relevancia mencionar que la energía nuclear conjuga aspectos como, la seguridad, confiabilidad, bajas emisiones de gases de efecto invernadero y costos competitivos, fundamentales para considerarse como una opción real en la expansión del SEN.

3. PLANEACIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

3.1. Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE)

De acuerdo con el artículo 4 de la LIE, la generación de electricidad es una actividad en régimen de libre competencia, y para su planeación de largo plazo se elabora el PIIRCE 2016-2030, el cual contiene la referencia sobre las capacidades por tipo de tecnología y ubicación geográfica de las nuevas unidades de generación necesarias para satisfacer la demanda de energía eléctrica del país, además de las centrales eléctricas notificadas por los generadores para su retiro [3].

De acuerdo a los resultados del ejercicio de planeación de la Secretaría de Energía mostrados en el PRODESEN 2016-2030, indica que se requieren 57,122 MW de capacidad adicional para satisfacer la demanda de energía eléctrica en el periodo 2016-2030. La capacidad adicional para la generación eléctrica se integrará con 38% de tecnologías convencionales y 62% de tecnologías limpias. De los 413 proyectos que conforman el PIIRCE, sólo tres corresponden a proyectos relacionados con tecnología nucleoelectrica previstas para los años 2028, 2029 y 2030, con una capacidad bruta total de 4,080 MW y teniendo una participación del 7% en la capacidad total adicionada en el periodo del año 2016 al 2030.

La capacidad instalada tendrá 50% de tecnologías convencionales y 50% de tecnologías limpias (ver figura 1). Sin embargo, el hecho de tener 50% de capacidad instalada de tecnologías limpias no significa que la generación de energía eléctrica total también sea en un 50%, esto significa que es imprescindible instalar tecnologías limpias que tengan características que permitan ser despachadas el mayor tiempo posible.

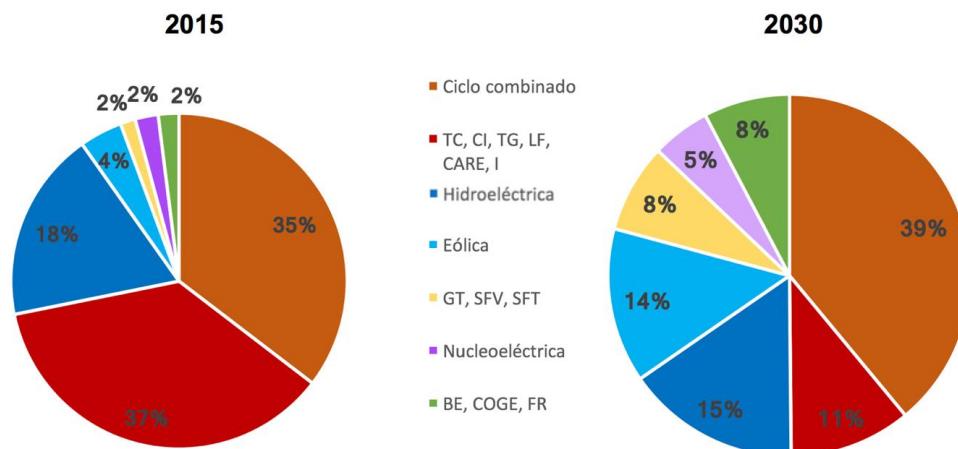


Figura 1. Capacidad total disponible por tipo de tecnología en 2015 y 2030 de acuerdo al PIIRCE

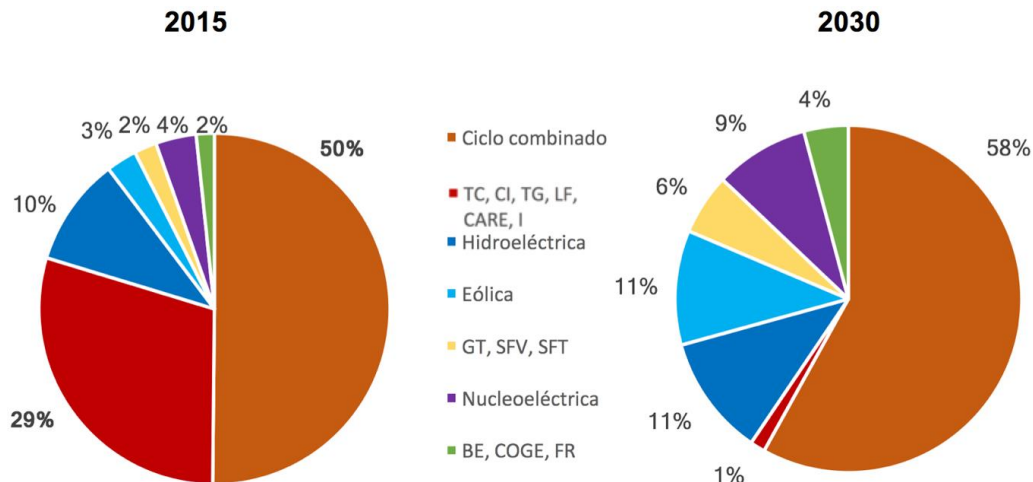


Figura 2. Generación total por tipo de tecnología en 2015 y 2030 de acuerdo al PIIRCE

Si analizamos los valores de capacidad, mostrados en la figura 1 y generación, mostrados en la figura 2 de cada tecnología podemos conocer qué tecnologías son las que se despachan con mayor frecuencia y qué tecnologías son más intermitentes en su despacho, de acuerdo a su relación entre el porcentaje de capacidad y generación.

Tal como observamos en la figura 2, la tecnología que tendrá una disminución de capacidad y generación será la termoeléctrica convencional, y se hará una diversificación del parque de generación con tendencia a tecnologías limpias, sin embargo, la mayor parte de la generación seguirá siendo por medio de ciclo combinado.

4. EL REACTOR SMALL MODULAR REACTOR (SMR) COMO OPCIÓN TECNOLÓGICA PARA BCS

4.1. Caso BCS: CC o SMR

La problemática del suministro de energía que tiene el estado de Baja California Sur (BCS) se debe a que se encuentra en una zona aislada que no cuenta con recursos energéticos propios que hagan posible la incorporación de tecnologías de generación más económicas.

Los costos de operación del sistema BCS son muy altos, debido a que su parque de generación se constituye en su mayoría por unidades térmicas convencionales, las cuales se han modificado para reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera; plantas de combustión interna que emplean diésel o combustóleo; y unidades de turbogas y turbo jet que se incorporaron para cubrir los picos de demanda.

En el PRODESEN 2016-2030 se tiene considerados 22 proyectos a partir del año 2016 [2]. Dentro de estos proyectos destacan 2 ciclos combinados, de los cuales, se seleccionó uno con capacidad de 117 MW con estatus proyecto nuevo, para la elaboración de un ejercicio presentado

en la Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029, en el cuál, se analiza la factibilidad de construir un reactor SMR en BCS.

4.2. Características y parámetros de estudio de las plantas de CC y SMR

EL Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), realizó un estudio para evaluar la alternativa al suministro de energía en Baja California que responde a la necesidad de cobertura eléctrica más eficiente, confiable y económica para esta área que no se encuentra conectada al SIN [4]. Este estudio se tomó como base para la elaboración de un nuevo estudio que muestra los datos actuales y que además incluye el costo de instalación para las plantas consideradas.

Se llevó a cabo un análisis unitario, utilizando las principales características y parámetros para proponer la instalación de reactores SMR del orden de 100 MW eléctricos, con el fin de sustituir las centrales de CC que estén considerados en el PIIRCE:

- ✚ Central de Ciclo combinado con capacidad de 117MW mostrado en el COPAR 2016-2029.
- ✚ Reactor SMART con capacidad neta de 100 MW como central eléctrica teniendo como referencia la información básica del proveedor.
- ✚ Reactor SMART con capacidad neta de 90 MW como central eléctrica y producción de 40,000 m³ diarios de agua desalada.

Los parámetros del análisis que se utilizaron son:

- Precios del Gas Natural en BCS: 11.5 USD/MMBTU
- Tasa de descuento: 6.2% anual
- Paridad cambiaria: 20 pesos/USD
- Precio de venta de la energía eléctrica: 1.6962 pesos/KWh

Las características que se utilizaron para cada planta se observan en la tabla I y para la planta desaladora en la tabla II:

Tabla I. Parámetros utilizados en el análisis entre ciclo combinado, reactor SMART y reactor SMART c/desaladora

Características	Ciclo combinado	Reactor SMR	SMR c/desaladora
Factor de planta (%)	75	88	88
Costo unitario de inversion (USD/kW)	1,259	5,049	5,049
Capacidad bruta (MW)	117	100	100
Monto de inversion (MMUSD)	147.3	504.9	504.9
Vida de la planta (años)	30	60	60
Precio de venta (pesos/kWh)	1.69	1.69	1.69

Generación neta anual (MWh)	741,872	725,920	693,792
Costo nivelado de generación (USD/MWh)	101.09	68.62	69.51

Tabla II. Parámetros utilizados en el análisis de la planta desaladora

Capacidad de producción de agua	40,000 m3/día
Costo nivelado de inversión	\$0.39 USD/m3
Agua desalada en el año	12,848,000.00 m3/año
Costo nivelado de combustible	\$0.27 USD/m3
Costo nivelado de O&M	0.23 USD/m3
Costo nivelado de producción	0.89 USD/m3
Costo anual	\$11,434,720.00 USD/año
Precio de venta de agua (Pesos)	\$12.53 pesos/m3
Precio de venta de agua (Dolares)	\$0.63 USD/m3
Ingreso por venta	8,049,272 USD/año

4.3. Evaluación económica y conclusiones del estudio

De acuerdo a los parámetros y características utilizados en el estudio, para costo nivelado de generación, costos e ingresos y beneficio anual, se obtuvieron resultados en cada una de las plantas consideradas tal como se muestra en la figura 3, 4 y 5 para costo nivelado de generación, costos e ingresos anuales y beneficio anual respectivamente.

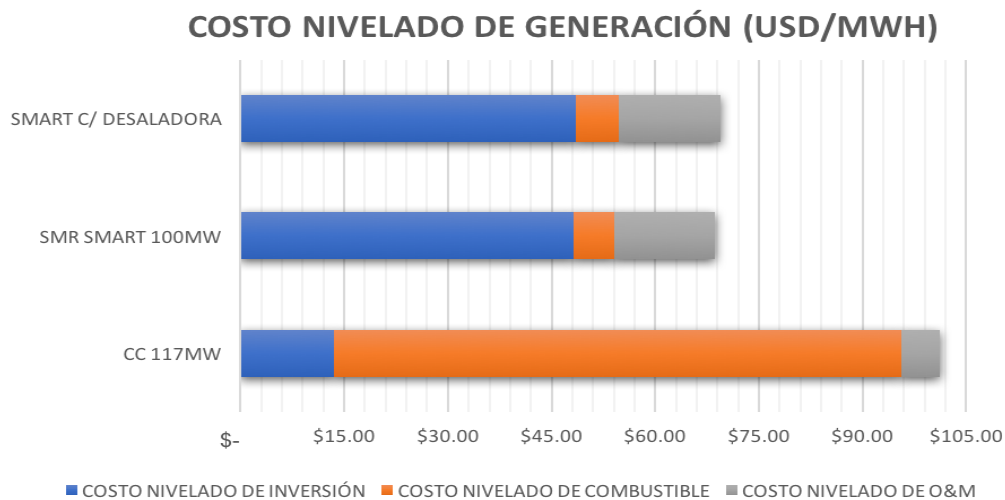


Figura 3. Costo nivelado de generación de tecnologías consideradas en el estudio de BCS

El costo nivelado de generación aumenta en gran medida con respecto a los costos de generación que tiene comúnmente una central de ciclo combinado, debido principalmente al costo que genera llevar el gas natural desde EE.UU. a la zona de BCS, por lo que, aun cuando se pueda obtener el combustible a un precio accesible el transporte del mismo puede resultar más costoso.

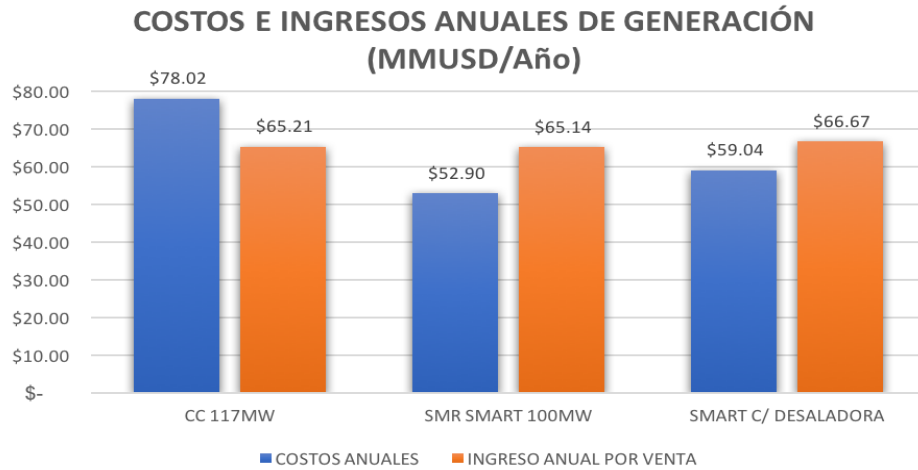


Figura 4. Costos e ingresos anuales de tecnologías consideradas en el estudio de BCS

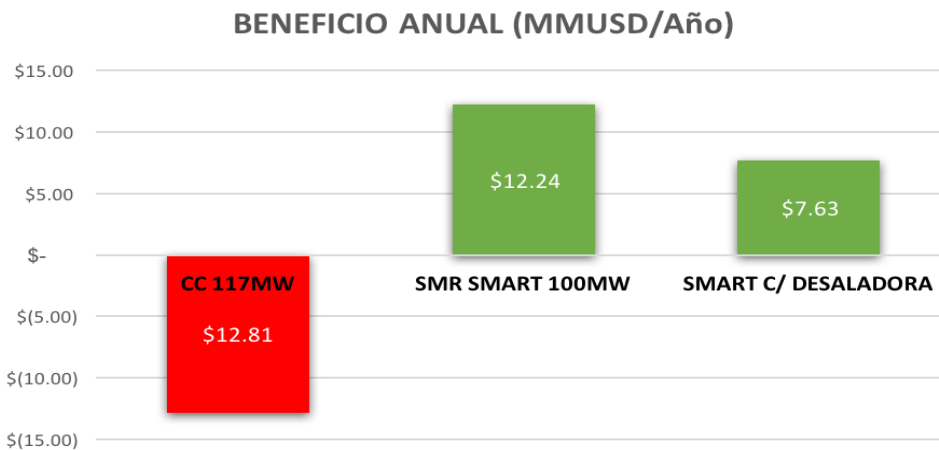


Figura 5. Beneficio anual de tecnologías consideradas en el estudio de BCS

5. ANÁLISIS DE LA PARTICIPACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN MÉXICO

5.1. Análisis del Sistema Interconectado Nacional (SIN)

Para el análisis de la capacidad adicional de energía nuclear en el SIN se deben conocer las tecnologías de reactores nucleares disponibles, además de conocer la experiencia que se ha tenido por parte de los países que las han utilizado. Dentro de las tecnologías disponibles para México se encuentran, el reactor AP1000 de la compañía Westinghouse y el reactor ABWR de General

Electric-Hitachi, el cual es la siguiente generación del reactor BWR con el que contamos actualmente en la central Laguna Verde en Veracruz.

A continuación, se muestra el estatus que tiene cada tipo de reactor en el mundo [7].

✚ Advanced Pressurized Water Reactor 1000 (AP1000)

- Actualmente se tienen:
 - 4 reactores en construcción que se espera entren en operación en 2017
 - 4 reactores en construcción sin fecha definida para entrar en operación
 - 19 reactores en planeación con fecha de inicio de construcción en 2017
 - 4 reactores en planeación con fecha de inicio de construcción en 2018
 - 16 reactores en planeación con fecha de inicio de construcción indefinida

✚ Advanced Boiling Water Reactor (ABWR)

- Este reactor solo se ha construido en Japón y se tiene experiencia operacional con él.
- Actualmente se tienen:
 - 4 reactores en estatus de planeación con fecha de inicio de construcción indefinida en Reino Unido
 - 2 reactores tipo ESBWR en estatus de planeación con fecha de inicio de construcción indefinida en EE. UU.

Para este caso vamos a utilizar el reactor AP1000 debido a que se tiene un mayor número de reactores en construcción y planeados a diferencia del reactor ABWR, lo que ayuda en un mayor tiempo de experiencia operacional además de tener una diversificación a nivel mundial mucho mayor.

5.2. Análisis de Factores Técnicos

La energía hidroeléctrica de agua fluyente y la nuclear son las tecnologías que serán las más utilizadas para abastecer la carga base, debido a sus bajos costos de combustible, de operación y mantenimiento, y su alta potencia. Para la carga intermedia se utilizan centrales térmicas, es decir, centrales que utilizan carbón, gas natural o combustóleo, lo que ayuda a abastecer la demanda durante los periodos de mayor consumo de energía. Para el caso de la carga pico se utilizan generalmente plantas hidroeléctricas con almacenamiento y rebombeo además de otras como las de tipo turbogás y en algunos casos de combustión interna.

En el caso del Sistema Eléctrico Nacional se produce una gran cantidad de energía por medio de centrales de ciclo combinado para abastecer la carga base y la carga intermedia, por lo que, si queremos conocer la participación de la energía nuclear en México, debemos saber cuáles son los proyectos en construcción y proyectos nuevos de centrales de ciclo combinado mostrados en el PIIRCE, con la finalidad de conocer la cantidad de energía que se pretende que estas centrales generen y así determinar cuál es su posible costo durante su vida de 30 años. Si queremos realizar una comparativa entre los costos de una central de ciclo combinado y una central nuclear

tenemos que enfocarnos en los costos de instalación, de combustible y de O&M, sin embargo, el costo de instalación perjudica a la opción nuclear y por otra parte el costo de combustible afecta a la central de ciclo combinado por lo que debemos analizar estos dos costos a detalle.

Además, tenemos que considerar que solo se tienen dos opciones en México para abastecer la carga base, nuclear y CC, por lo que debemos de considerar el factor de seguridad.

5.3. Análisis de Factores de Seguridad

De acuerdo a la figura 6 las reservas probadas de GN que se tienen en EE. UU. han disminuido en los últimos años y la producción ha aumentado en gran proporción, cerca del 50% más en 10 años, sin embargo, necesitamos conocer cuál es la proporción de estas reservas que se encuentra cerca de la frontera con México, ya que, si las reservas de GN están demasiado lejos de la frontera no sería costeable transportar el combustible.

Los estados que se encuentran cerca de la frontera son Texas y Oklahoma, los cuales tienen una gran cantidad de gas natural, sin embargo, debemos tomar en cuenta que EE.UU. es uno de los países donde más se consume gas natural para producción de electricidad y para actividades industriales, lo que evita que México pueda basar su disponibilidad de éste combustible en la importación desde EE.UU., ya que ellos tienen como prioridad su seguridad energética antes que la exportación de sus recursos. Además, la variación de precios de gas natural exportado por gasoducto y por medio de barco como gas natural licuado se muestra en la figura 7.

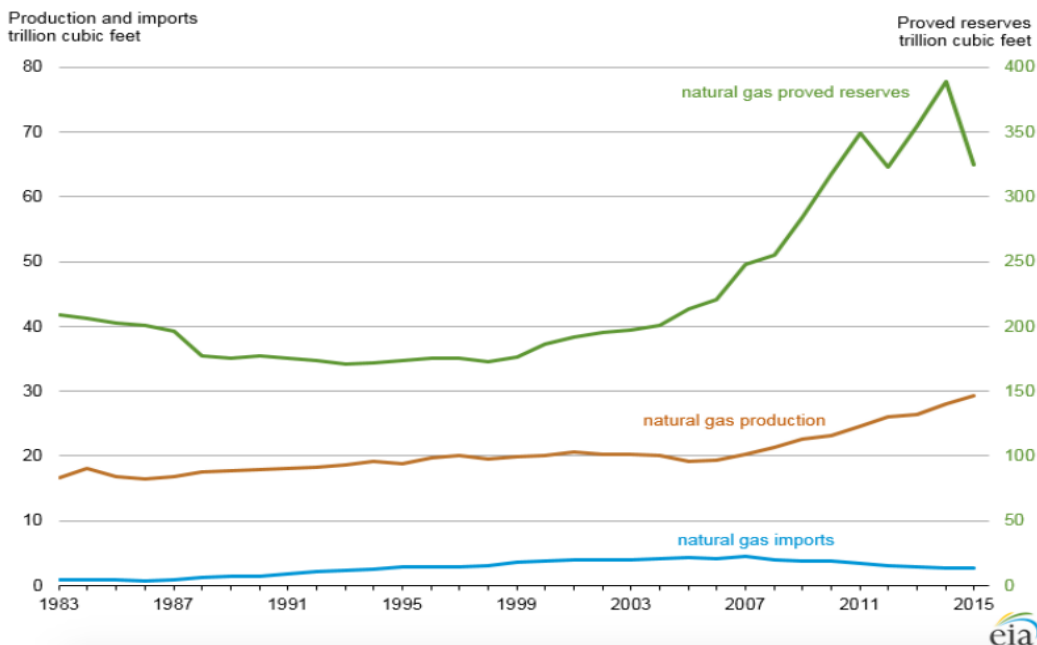


Figura 6. Reservas, producción e importaciones totales de gas natural en EE.UU. de 1983 a 2015 (Trillones de pies cúbicos) [6]

U.S. Natural Gas Exports and Re-Exports by Country

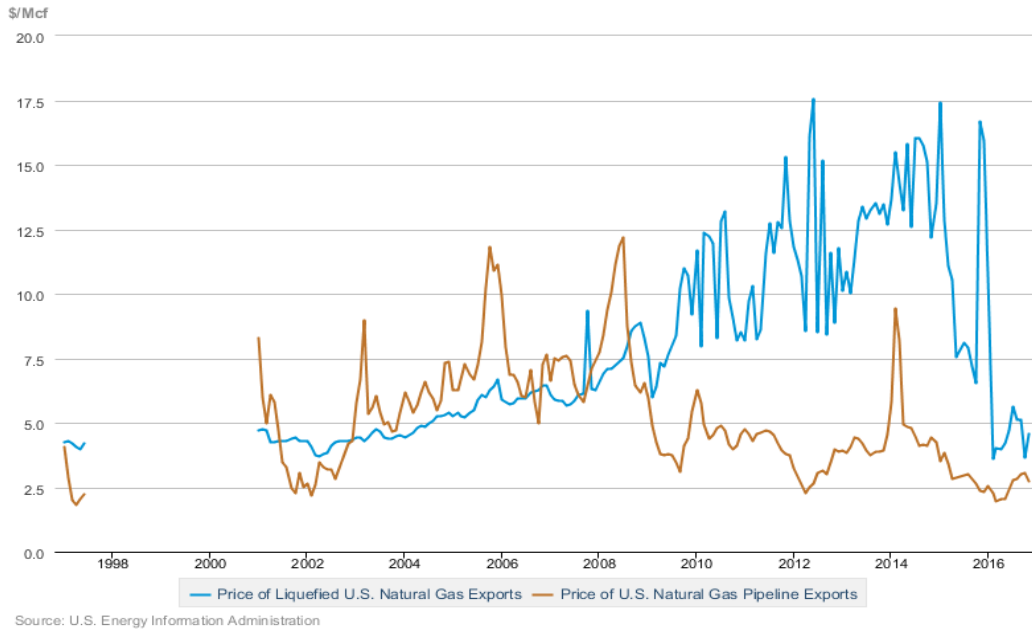


Figura 7. Exportaciones históricas de gas natural de EE.UU. a México por gasoducto y gas natural licuado [6]

5.4. Análisis de Factores Económicos

Podemos elaborar algunos supuestos para realizar propuestas acerca del costo que podría tener el GN en el futuro como los siguientes:

- Al disminuir la cantidad de reservas de GN en EE.UU. el precio del combustible aumentará cada vez más.
- Al aumentar la producción de GN en EE.UU. el horizonte de años que se tiene será menor al actual.
- Sólo se instalará la cantidad y capacidad de ciclos combinados que se contemplan en el PRODESEN 2016-2030.
- Sólo se analizan las centrales de ciclo combinado que se mencionan en el PRODESEN de 2017 a 2030.
- Las centrales de CC tienen una vida de 30 años únicamente.
- El factor de planta para estas centrales de CC es de 75%.
- Las reservas de GN que se tienen en México no son suficientes para abastecer la demanda, por lo que se necesitan importaciones del combustible.
- Los costos de inversión y de O&M se mantienen constantes durante el tiempo.

- El precio de importar gas licuado sería el doble del precio de importar gas por medio de gasoductos.

Con los supuestos anteriores se elaboraron 5 escenarios para el posible costo que tendría el GN de importación por medio de gasoductos:

- El incremento del precio del GN aumentará en \$0.25 dólares por año.
- El incremento del precio del GN aumentará en \$0.50 dólares por año.
- El incremento del precio del GN aumentará en \$0.75 dólares por año.
- El incremento del precio del GN aumentará de acuerdo al escenario de referencia de COPAR 2015 [5].
- El incremento del precio del GN aumentará en \$0.25 dólares por año de 2018 a 2024, en \$0.50 de 2025 a 2031, en \$0.75 de 2032 a 2038, en \$1 de 2039 a 2045 y se utiliza el precio de 2045 como constante hasta 2050.

De acuerdo a lo que se observa en la figura 8, se sabe que mientras mayor área exista debajo de la línea que se dibuja para cada caso, el costo final de generación será mayor. Esto es posible comprobarlo en la figura 9 donde se muestra el costo nivelado de generación de energía para cada uno de los escenarios propuestos:

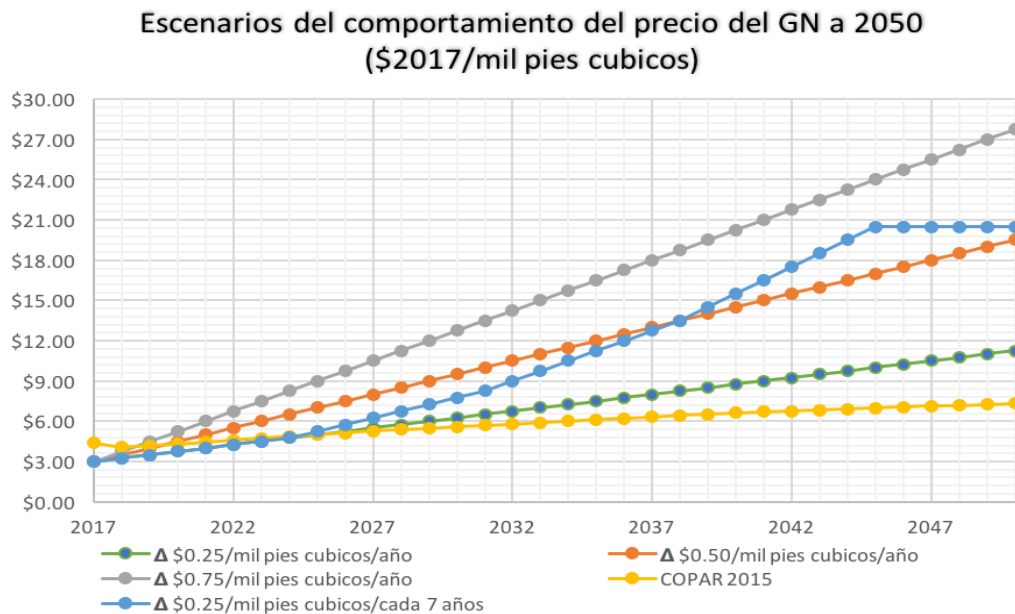


Figura 8. Escenarios propuestos de variación del precio del GN de 2017 a 2050

COSTO NIVELADO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA A DIFERENTES PRECIOS DE GN DE 2017-2050

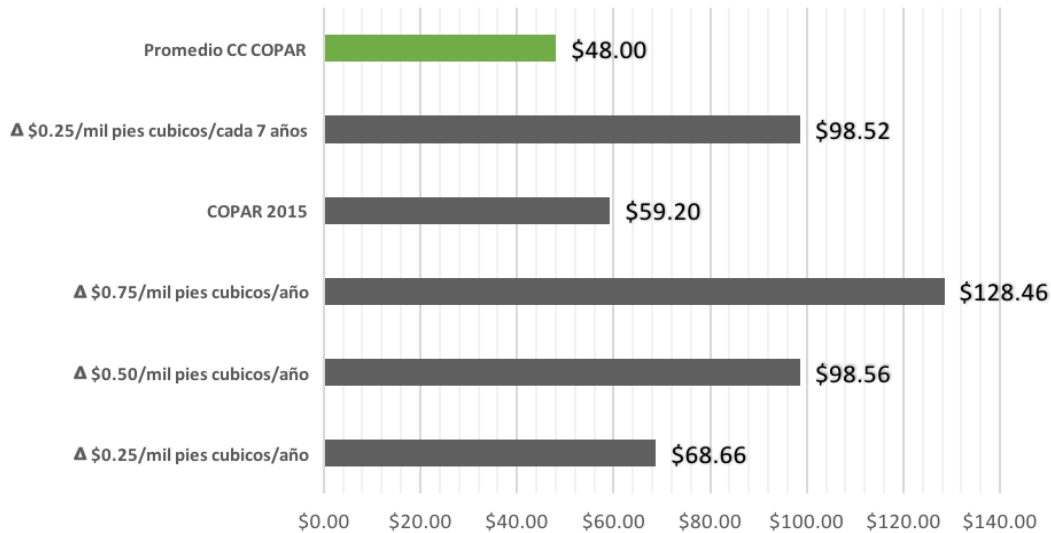


Figura 9. Costo nivelado de generación de energía a diferentes precios de gas natural de 2017 a 2050 (\$USD/MWh)

Estos costos de generación para cada escenario otorgan un mejor panorama acerca de las implicaciones que se tienen al importar GN para la producción de electricidad utilizando CC como tecnología de generación.

Si observamos los costos obtenidos en el escenario 1 y 4, donde, los incrementos de precio del combustible son menores, existe un aumento considerable del costo nivelado de generación respecto a los mostrados en el COPAR 2015 de costos para centrales de ciclo combinado.

Los costos de generación de energía aumentan en los escenarios propuestos, ya que es muy probable que los precios de GN aumenten en los próximos años y que al ser más escaso este recurso será indispensable buscar otra fuente de generación que ayude a mantener la seguridad, confiabilidad y economía del Sistema Eléctrico Nacional.

6. CONCLUSIONES

Para la elaboración de este trabajo se consideraron tres factores para determinar la participación de la energía nuclear en la planeación eléctrica en México con el fin de mostrar una visión objetiva y real del panorama que se tiene actualmente en el sector eléctrico, estos factores son:

- ❖ Técnico

Se consideró el funcionamiento de las centrales de generación en la vida diaria, por lo que se hizo una división de las tecnologías de acuerdo al uso dentro del abastecimiento de la curva de demanda de energía eléctrica, de modo que se concluyó que las plantas nucleares deben ser comparadas con centrales carboeléctricas, de ciclo combinado o termoeléctricas convencionales, sin embargo, por las políticas nacionales y compromisos internacionales en materia de reducción de emisiones, se ha optado por abandonar la generación por medio de termoeléctricas convencionales a corto plazo y carboeléctricas a mediano plazo, resultando como única opción la generación por medio de centrales de ciclo combinado o nucleoeeléctricas para el abastecimiento de la carga base.

❖ Económico

Considerando el factor técnico, fue necesario realizar una comparación entre las tecnologías de ciclo combinado y nuclear, mostrando las características que pueden alterar el costo de generación de electricidad en cada una de ellas. Con esta información, se elaboraron cinco escenarios que se enfocaron en la fuente y comportamiento del precio del gas natural mostrando su efecto en el costo nivelado de generación de energía. Por su parte la tecnología nuclear se consideró que tiene un rango en el costo nivelado de generación de energía que no cambia a través del tiempo.

Al tomar en cuenta la fuente y el precio del gas natural en el futuro, fue posible determinar las consecuencias que se tendrían si se optara por mantener la política de generación de energía por medio de centrales de ciclo combinado.

El principal resultado del análisis es que se necesita cambiar la política de generación de centrales de ciclo combinado y aumentar la cantidad de la capacidad instalada de centrales nucleoeeléctricas debido a la sensibilidad que tiene una central de ciclo combinado al aumentar el costo de generación a causa del incremento del precio del gas natural o de la necesidad de importar el combustible como gas natural licuado.

Es necesario aprovechar al máximo el gas natural con el que cuenta el país para su correcta utilización en los sectores más importantes como el industrial e incluso el residencial y contribuir a mantener el crecimiento económico.

❖ Seguridad

Existe un elemento que se considera como una gran barrera para la expansión del parque nuclear en nuestro país, este es el elemento social y político, debido a que la tecnología nuclear tiene una mala imagen ante la sociedad debido a los accidentes ocurridos durante su historia. Sin embargo, existe el compromiso de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y a su vez mantener un sistema eléctrico seguro, confiable y económico. Además, nos estamos acercando al final de la era de los combustibles fósiles baratos, lo que nos obliga a buscar otras fuentes de generación de electricidad. Todos estos elementos en conjunto crean

un escenario perfecto para que la energía nuclear se profile como una opción real que debemos usar en nuestro país para asegurar el abastecimiento de energía eléctrica.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por permitirme otorgarme las herramientas para desarrollar este estudio.

A la Dra. Cecilia Martín del Campo por su incondicional apoyo para el análisis y recopilación de información.

A Mariana por ser mi compañera incondicional en todos mis estudios de posgrado en la UNAM.

REFERENCIAS

1. Diario Oficial de la Federación, Ley de Transición energética, México 2015.
2. Secretaría de Energía, *Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional (PRODESEN)*, México 2016.
3. Diario Oficial de la Federación, Ley de la Industria Eléctrica, México, 2014.
4. Secretaría de Energía, *Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029*, México 2015.
5. Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Costos y Parámetros de Referencia del Sector Eléctrico (COPAR 2015 Generación)*, Edición 35, México, 2016.
6. U.S. Energy Information Administration (EIA), *U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, Year-end 2015*, Washington, D.C. USA, December 2016
7. Nuklear Forum Schweiz, Discover the world's nuclear power plants and repositories with nuclearplanet, 2016.
8. Centro Nacional de Control de Energía, *Gráfica de Demanda*, 2017.