

---

## **Análisis de Escenarios con la Participación de la Energía Nuclear en el Sector Eléctrico Mexicano Utilizando el Programa DECADES**

---

**Edith Sosa Palacios<sup>1</sup>, María Guadalupe Trejo Galicia<sup>1</sup>**  
*Universidad Nacional Autónoma de México - Facultad de Ingeniería*  
*Circuito Interior – Ciudad Universitaria, México, D.F.*  
*edithsosa@hotmail.com; lupetrejogal@hotmail.com*

**Cecilia Martín del Campo Márquez<sup>2</sup> y Juan Luis François Lacouture<sup>2</sup>**  
*Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares.*  
*Facultad de Ingeniería-UNAM*  
*Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec. Mor.*  
*cmcm@fi-b.unam.mx; jflf@fi-b.unam.mx*

### **Resumen**

Actualmente la planeación energética exige análisis técnicos, económicos y ambientales de las diferentes opciones de generación eléctrica para poder encontrar la mejor solución de abastecimiento y disponibilidad de energía, ya que es indispensable para el desarrollo de las actividades productivas y asegurar la competitividad de la economía de un país. Los análisis de expansión del Sector Eléctrico Mexicano se realizan cotidianamente en la Comisión Federal de Electricidad (CFE) con algunos programas, entre ellos DECADES. Sin embargo, hasta donde tenemos información sólo se ha considerado un tipo de reactor como candidato siendo que existen varias opciones que muestran características prometedoras por lo que deben ser consideradas en los análisis. Con este trabajo se enriqueció la base de datos de DECADES de las centrales nucleares que pueden ser utilizadas como candidatas a considerar en el sistema variable de los estudios de expansión. Se han realizado algunos análisis comparativos entre dos tipos de centrales nucleares que actualmente se ofrecen en el mercado, específicamente el reactor AP600 tipo PWR de 600 MWe y el BWR con capacidad de 1300 MWe. Posteriormente se pretende analizar dos o tres escenarios del sistema de generación eléctrica en México a un plazo de veinte o veinticinco años.

### **1. INTRODUCCIÓN**

En México el desarrollo industrial está demandando cantidades de energía que aumenta a un ritmo muy acelerado. Las fuentes de energía apoyadas en combustibles fósiles no durará por mucho tiempo, además de que tiene la gran desventaja de emitir gases contaminantes, por esta razón debe iniciarse un programa para la generación de energía con fuentes alternativas. De acuerdo con los especialistas es poco probable que dentro los próximos años se encuentre una fuente renovable de energía que satisfaga la creciente demanda mundial.

<sup>1</sup>Pasante de la Carrera de Ingeniero Eléctrico Electrónico.

<sup>2</sup>Profesor.

Utilizando los análisis comparativos a nivel económico, ambiental y tecnológico de cada una de las plantas, se buscará sustituir progresivamente los combustibles fósiles por energía renovable y fuentes alternas de generación como es la energía nuclear, dando una solución real al problema de las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero.

El sector eléctrico mexicano es parte fundamental de la estrategia económica del gobierno para cumplir con sus compromisos de generar las mejores condiciones para el crecimiento y mejoramiento de la calidad de vida de todos los mexicanos.

Existe una gran necesidad de una planeación estratégica que nos capacite para los retos que enfrenta el sector eléctrico. El presente trabajo tiene como propósito fundamental el contribuir a garantizar la viabilidad del sector eléctrico a largo plazo haciendo el mejor uso de los recursos energéticos manteniendo un equilibrio aceptable entre la eficiencia económica, el desarrollo ambiental y el desarrollo social, de tal manera que satisfaga las necesidades de los mexicanos de hoy y de las generaciones futuras.

El mayor impacto ambiental de la generación de energía eléctrica se presenta en la calidad de aire y en el cambio climático, a partir de las emisiones de los gases de efecto invernadero, derivados de la quema de combustibles fósiles.

La preocupación de la opinión pública y mundial por el deterioro del medio ambiente ha aumentado dando como resultado la adopción de protocolos establecidos en reuniones internacionales.

El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional encaminado a reducir globalmente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El propósito es reducir la dependencia de la economía mundial del consumo de combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón, cuyo impacto en el medio ambiente ha alterado el clima y, con ello, la biosfera y la biodiversidad. El Protocolo incluye seis gases: bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

Para impulsar un sector eléctrico con un buen desempeño ambiental resulta conveniente, si no que indispensable, que México ratifique su compromiso de aprovechar de una manera sustentable los recursos naturales y contribuir a la preservación del medio ambiente. El firmar el Protocolo de Kioto comprometería al país a responsabilizarse del cuidado del medio ambiente, así como también crear una mayor conciencia ambiental en la población.

Actualmente la energía nuclear en varios países como Francia, Japón, Corea y China entre otros, representa la solución más viable para la generación de electricidad sin la emisión de gases efecto invernadero. En nuestro país se han realizado muy pocos análisis en los cuales se evalúe el potencial de la energía nuclear tomando en cuenta

que las centrales nucleares ofrecen propuestas más sólidas teniendo mejoras considerables en aspectos de confiabilidad, seguridad y economía.

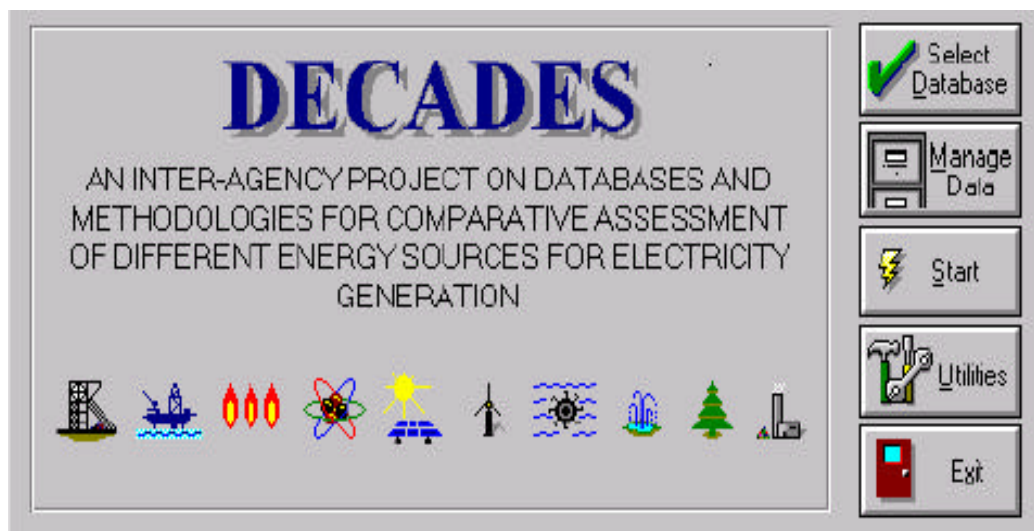
Sin embargo existe una gran desconfianza ante esta opción por lo que se debe mejorar la percepción del riesgo que el público tiene del uso de la energía nuclear, iniciando una campaña de información hacia la población para crear una especie de cultura nuclear y generar la aceptación de esta tecnología.

## 2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La realización de los análisis comparativos a nivel de planta de generación, de cadena energética y de sistemas de generación eléctrica se realizan con el paquete DECADES [1].

### 2.1 Descripción de DECADES

El DECADES es un programa computacional que incluye bases de datos y herramientas de cálculo que nos permite establecer comparaciones entre las distintas plantas generadoras. Estas comparaciones se dividen en tres grupos: económicas, ambientales y tecnológicas. La base de datos de este paquete es manejada por Corel Paradox 8. A continuación se presenta la carátula de DECADES (ver figura 1)



**Figura 1. Carátula del programa DECADES**

Enseguida se describen los dos tipos de comparaciones con las que trabajamos:

*Comparaciones Económicas.* Analiza los costos de producción anual y los costos de generación de la electricidad.

*Comparaciones Ambientales.* Estima las emisiones directas, como son las que ocurren directamente en la planta, y emisiones indirectas asociadas con la producción de materiales usados para construcción y operación de la planta.

### 2.1.1 Modelos utilizados en DECADES

Los modelos para la estimación de factores de combustión y emisiones del sector energético se expresan con la siguiente ecuación:

$$ET_i = \sum_j \sum_k A_{kjm} * C_{jikm}$$

Donde:  $ET_i$  = Emisiones totales del GEI  $i$   
 $A_{jk}$  = Actividad energética del sector  $j$  utilizando la tecnología  $m$  para el combustible  $k$   
 $C_{jik}$  = Coeficiente de emisión del gas  $i$  asociada a la actividad  $j$ , la tecnología  $m$  y el combustible  $k$

En cuanto a consumo y generación eléctrica, se obtiene de información de CFE sobre las plantas generadoras, considerando la electricidad que es importada.

El factor de emisión del consumo de energía eléctrica se obtiene mediante la siguiente expresión:

Donde:  $i$ : Se refiere al combustible utilizado  
 $C_i$ : Se refiere al consumo total del combustible  $i$  empleado para generar electricidad en las plantas generadoras del país en el año  $t$  en [PJ]  
 $FEC_i$ : Es el factor de emisión de carbono del combustible  $i$  en [ton de C/PJ]  
 $PE$ : Se refiere a la producción neta de electricidad de todas las plantas generadoras del país en el año  $t$  en [PJ], tomando en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución

## 2.2 Descripción del Análisis Paso por Paso

- Recopilación de la información disponible, a través de las bases datos de Comisión Federal de Electricidad (CFE) [2], Secretaría de Energía (SENER) [3] y la base de datos para DECADES del Sistema de Generación Eléctrica en México utilizada en el proyecto [4] apoyado por el Organismo Internacional de Energía Atómica.
- Construcción de la base de datos para DECADES específica (CSDB) para México que incluye los parámetros económicos, técnicos y ambientales de las tecnologías nucleares de generación de electricidad y sus cadenas energéticas. En este paso

se utilizó como punto de partida una base de datos actualizada en la Comisión Federal de Electricidad en abril de 2003.

- c) Utilización del programa DECADES el cual permitió establecer escenarios futuros, conociendo el desarrollo de diversos parámetros económicos, tecnológicos, políticos y comerciales, entre otros, así como suponer la evolución de la interrelación existente entre dichos parámetros.
- d) Las alternativas para la expansión del sistema generador Mexicano a largo plazo en se realizarán cuatro niveles.
  - Análisis a nivel de planta
  - Análisis a nivel de cadena
  - Análisis a nivel de sistema
  - Análisis de toma de decisiones
- e) En este trabajo se presenta la comparación a nivel de planta.

### 2.3 Actualización de la base de datos del Sector Eléctrico Mexicano

Se crearon dos escenarios con diferentes tecnologías de reactores nucleares:

- **PWR de 600 MW (AP600US)**

De uranio enriquecido como combustible y agua a presión como moderador y refrigerante. [5]

- **BWR de 1300 MW (B1300)**

De uranio enriquecido como combustible y agua ordinaria en ebullición como moderador y refrigerante. [5]

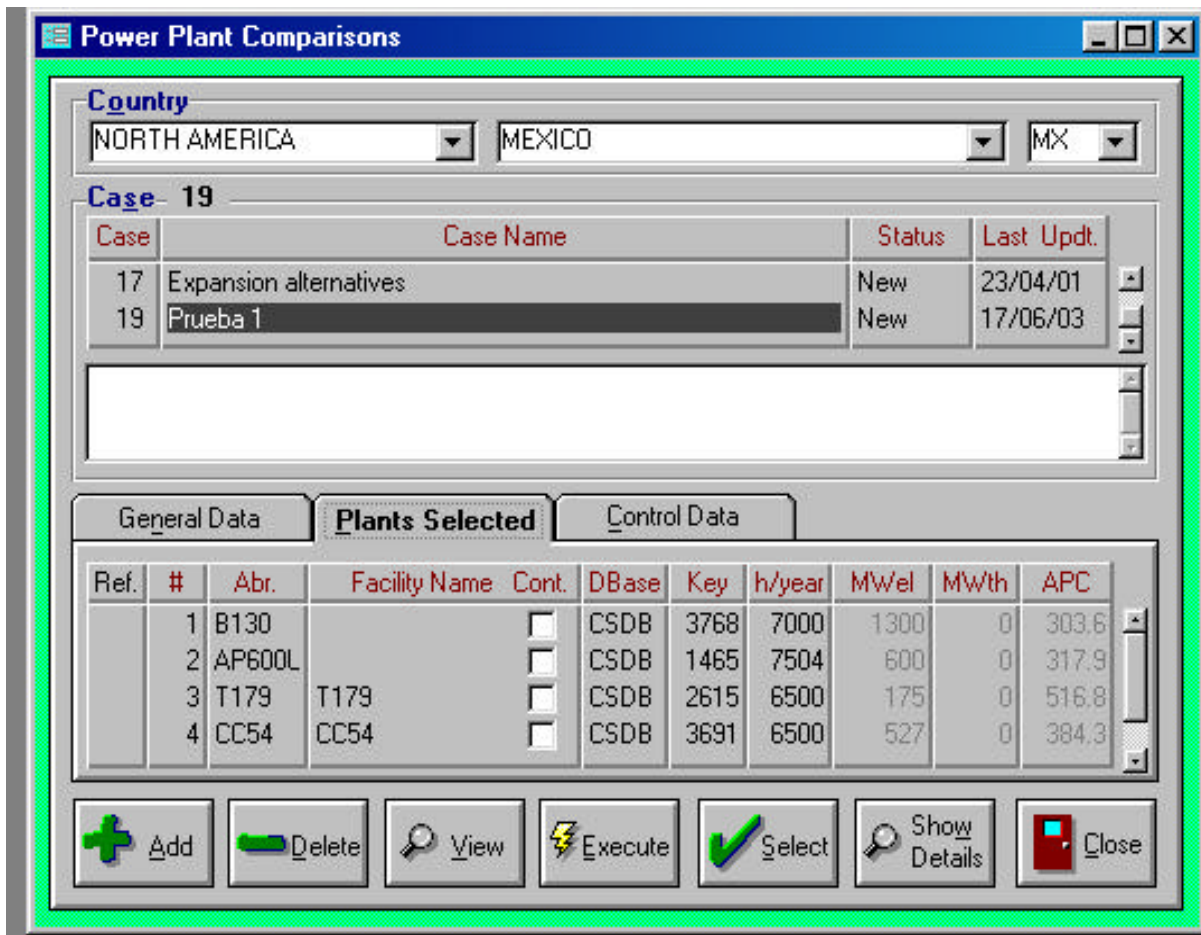
Para dar de alta estos escenarios nos auxiliamos en la base de datos del país de demostración, con la finalidad de obtener datos con tecnologías similares a los reactores nucleares elegidos anteriormente.

Estos datos fueron importados a la base de datos CSDB para México a la sección de cadenas y tecnologías energéticas, las cuales comprendieron la parte económica, tecnológica y ambiental de cada uno de los escenarios.

Posteriormente se construyó un caso denominado **prueba 1** (ver figura 2) en la parte de comparación a nivel de planta que incluye el siguiente grupo de plantas:

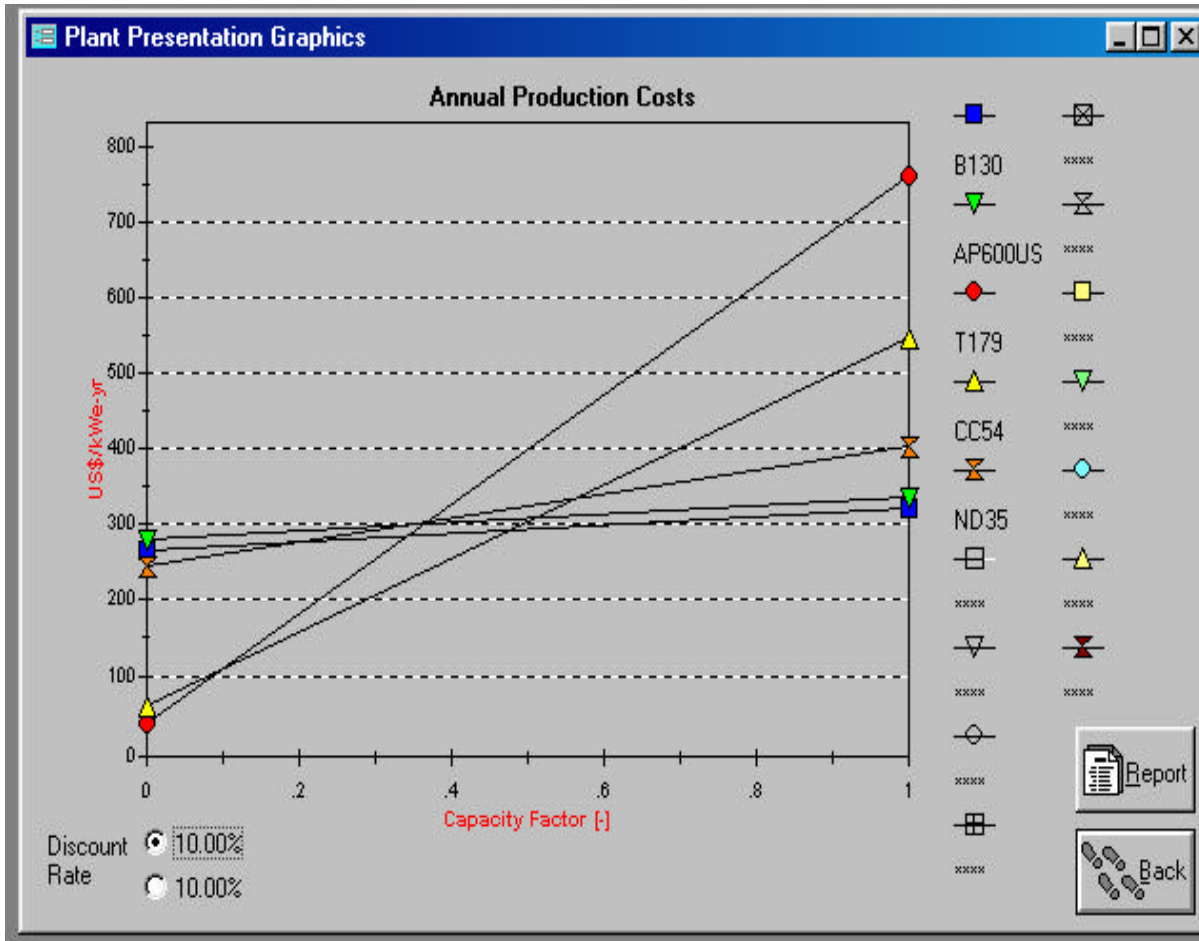
- PWR con capacidad de 600 MW (AP600US)

- BWR con capacidad de 1300 MW (B130)
- Ciclo Combinado con capacidad de 540 MW (CC54)
- Turbogas con capacidad de 179 MW (T179)
- Nueva Dual con capacidad de 350 MW (ND35)



**Figura 2. Comparaciones a Nivel de Planta**

Al realizar esta comparación obtuvimos gráficamente el costo anual de producción de cada planta como se muestra en la figura 3.



**Figura 3. Costo Anual de Producción.**

*Costo Anual de Producción (APC).*

Este valor es calculado con el número correspondiente de horas de operación (US\$/kWe-yr).

La gráfica de la figura 3 muestra que las plantas nucleares con los reactores de tipo BWR con capacidad de 1300 MW y PWR de 600MW son más económicas que las otras candidatas, para un factor de capacidad mayor al 80%, con una tasa de descuento del 10%.

**3. CONCLUSIONES**

El DECADES es una herramienta que nos permite evaluar el desempeño económico, ambiental y tecnológico de distintos grupos de plantas. Por lo cual es un gran apoyo para la toma de decisiones en la planeación estratégica del Sector Eléctrico Mexicano.

La tecnología de reactores nucleares avanzados constituye una buena opción ante el reto de abastecimiento de energía eléctrica sin descuidar el medio ambiente. Creemos que las centrales nucleoelectricas son alternativas de generación confiables, limpias y económicamente competitivas, razón por la cual deben considerarse en las prospectivas del Sector Eléctrico Mexicano.

Este trabajo es una parte de la tesis que actualmente está en desarrollo, por lo que esperamos fundamentar con mayor solidez cada uno de los puntos tratados anteriormente.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al Ing. Jorge Fernández y la Ing. Esmeralda Ibars de la Comisión Federal de Electricidad por compartir su valiosa experiencia y brindar su apoyo para la realización de este trabajo.

### **REFERENCIAS**

1. DECADES Tools User's Manual for Version 1.0, Electricity Planning Perspective Planner's View Point. DECADES Project. Document No. 2. IAEA, Vienna (1998).
2. "Página de la Comisión Federal de Electricidad," [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx) (2003)
3. "Página de la Secretaría de Energía," [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx) (2003)
4. "Comparative Assessment of Energy Sources for Electricity Supply Until 2025. DECADES Software Package Application and Results. (1999-2000). Comparative Assessment of Energy Options and Strategies until 2025. ENPEP (Balance) Package Application and Results. (2001-2002). Final Report". IAEA Project: Mex/0/012 (2003).
5. John R. Lamarsh y Anthony J. Baratta, *Introduction to Nuclear Engineering*, Tercera Edición, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, USA (2001).