

Tendencias de la industria eléctrica en México

Julián Sánchez Gutiérrez

*Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, Investigación y Desarrollo
Cuernavaca, Morelos, Mexico
e-mail: jsanchez@iie.org.mx*

Recibido el 30 de abril de 1999; aceptado el 30 de junio de 1999

En este trabajo se describe el sistema eléctrico de México en los aspectos de la generación, transmisión y demanda de electricidad. Se revisa brevemente la predicción de la demanda mundial para el año 2020 y se proporcionan datos acerca de las fuentes primarias con las que se satisficará la demanda. Se discuten los dos factores que actualmente ocasionan grandes cambios en el sector: la liberalización del mercado y la preocupación por el ambiente. Se enumeran después las causas del aumento en el empleo de la energía eléctrica en el mundo. Las consideraciones empleadas para seleccionar tanto el combustible como las tecnologías del sector son descritas en forma general y se dan datos más explícitos relativos a las predicciones, tales como la magnitud del consumo, la mezcla de fuentes primarias para la generación y las necesidades de financiamiento. Finalmente se trata el caso de México para el periodo 1998-2007, en lo relativo a la expansión del sistema eléctrico y los aspectos financieros correspondientes.

Descriptores: Energía eléctrica; sistema eléctrico; predicciones; planeación; México

A description of the relevant characteristics of generation, transmission and existing demand for electricity in Mexico is given. A brief overview of forecasts of the world's electricity demand for the period ending in the year 2020 and the primary energy sources with which the demand will be met, is provided. The liberalization of the electricity market and the concern for the environment are discussed as the two driving forces of change in the industry. Reasons for the increase in the use of electricity are cited and the considerations made in the choice of fuel and technology for electricity generation are outlined. Specific predictions of electricity consumption, mix of primary energy sources and financing are also provided. Finally, considerations are made of the expansion plans of Mexico's electric system for the period 1998-2007, together with the estimated amount of investment needed.

Keywords: Electric energy; electric networks; forecast; expansion planning; Mexico

PACS: 07.50.Yd; 84.37.+q

1. Configuración actual del sistema eléctrico nacional

Con el fin de establecer una base para apreciar los resultados de las predicciones del sistema eléctrico nacional, se procederá a describir las características más importantes del mismo, incluyendo algunos datos sobre el comportamiento de la demanda.

1.1. Sistema de generación

De acuerdo con la Secretaría de Energía [1], al 31 de diciembre de 1997 México contaba con una capacidad instalada de 34 815 MW repartida, según el tipo de central, de la siguiente manera: a base de hidrocarburos, 51.7%; hidroeléctrica 28.8%; carbóelctrica 7.5%; nucleoeeléctrica 3.8%, geotérmica y eólica 2.2% y dual 6.0%. El número de centrales era de 43, 16 hidroeléctricas, 20 termoeeléctricas, 2 carbóelctricas, 1 dual (carbón o combustóleo), 1 nuclear, 1 geotérmica, 1 de ciclo combinado y 1 de combustión interna.

1.2. Red de transmisión

Por lo que respecta a la red nacional de transmisión, ésta contaba con 32655 km de líneas con voltajes entre 200 kV y

400 kV (ésta es la denominada *red troncal*); 39 253 km con voltajes entre 69 kV y 161 kV (*subtransmisión*) y 328 712 km con voltajes de 2.4 kV a 34.5 kV (*distribución*). La red se encuentra conectada, a excepción de la península de Baja California. La capacidad instalada es de 135 760 MVA, de los cuales 94 520 corresponden a subestaciones de transmisión, 21 668 a distribución de la Comisión Federal de Electricidad, (CFE), y 19 572 a subestaciones de Luz y Fuerza del Centro, LyFC. Para propósitos de análisis o ilustración, se puede dividir el país en 32 regiones conectadas como ya se mencionó.

1.3. Demanda

Durante 1997, el sector registró una generación bruta que representó una energía de 158.7 TWh. El comportamiento histórico de la demanda muestra un incremento promedio, entre los años de 1987 a 1996, del 5.3% anual en tanto que el crecimiento de las ventas en 1997 fué del 7.1%.

La información disponible [2], indica que en 1996, la generación de potencia eléctrica de las centrales térmicas hizo necesario el empleo de 1176 PJ, los cuales fueron suministrados en un 61.1% mediante combustóleo, 16.3% mediante gas natural, 14.5% mediante carbón, 7.3 mediante uranio y 0.8% mediante diesel.

2. Predicciones para el mundo del año 2020

La Agencia Internacional de Energía publica predicciones acerca del futuro energético del planeta [3], según cada una de tres hipótesis establecidas. Dichas hipótesis incluyen los casos de *alto crecimiento*, *caso de referencia* y el caso de *bajo crecimiento*. La siguiente descripción corresponde a la del caso de referencia, mismo que los expertos consideran más probable.

2.1. Demanda

En todo el mundo, la electricidad es y continuará siendo la fuente de energía con mayor crecimiento en su demanda. Se predice que entre 1995 y 2020, el consumo anual mundial de electricidad pasará de 12 a 23 PWh (1 PWh = 10^{15} Watt-horas).

En los países en desarrollo el crecimiento en la demanda de electricidad será de más del doble del que experimentarán los países industrializados en los que se estima que la demanda pasará de 7 PWh en 1995 a más de 11 PWh en 2020. El consumo de los países en desarrollo aumentará en más del triple en el mismo periodo, llegando a ser de 10 PWh.

2.2. Energía empleada para generación

La evolución de la contribución de los energéticos primarios para la generación de electricidad se caracteriza por la permanencia del carbón como la principal fuente para la generación (36%). El empleo de este energético se intensificará en China y la India. Otra característica importante se refiere a un incremento notable en el uso de los energéticos renovables los cuales en 2020 mantendrán la participación relativa que ahora ocupan (alrededor del 21%), siendo en 2020 después del carbón, y el gas natural el contribuidor más importante. El empleo del gas natural se incrementará hasta proporcionar alrededor de una cuarta parte de la energía primaria para generación. El uranio disminuirá su participación y contribuirá con el 10% como máximo, a la generación de electricidad. El empleo del petróleo disminuirá levemente pasando del 9.4% en 1995 a 9% en 2020.

3. Consideraciones para la estrategia

La expansión de los sistemas eléctricos en el mundo se planea considerando un conjunto relativamente amplio de factores, algunos de ellos de aparición relativamente reciente y de gran importancia. La estrategia de planeación depende tanto de aspectos técnicos como políticos y económicos lo cual dificulta su establecimiento. A continuación se revisarán varios de los aspectos involucrados.

3.1. Factores actualmente importantes

Actualmente, el sector eléctrico se encuentra en una etapa de profundos cambios provocados por dos factores principales: La *liberalización* del mercado eléctrico y la *preocupación por el ambiente*.

3.1.1. Liberalización

La liberalización o entrada a un mercado de libre competencia tiene como efecto primario el establecimiento de una presión para disminuir costos tanto como sea posible. Aunado a este efecto se tiene el de que se produce un aumento en la incertidumbre asociada a las inversiones, lo cual tiende a detenerlas. El efecto positivo de la competencia radica en el hecho de que existe un verdadero incentivo (o amenaza) para aumentar la eficiencia de las centrales y de las empresas del sector. A la vista de las experiencias de los países en los cuales este proceso se ha puesto en marcha, se considera que una actitud prudente, consistente en mantener los poderes del estado para regular el sector y eliminar o atenuar las distorsiones del mercado, resultaría la más adecuada.

Desde el punto de vista de la selección de las tecnologías para los diversos procesos necesarios para el empleo de la electricidad, resulta evidente que las empresas buscarán las tecnologías que proporcionen una mayor vida como *líderes*, esto es, que posean avances tecnológicos que permitan una operación redituable durante el tiempo necesario para amortizar las inversiones y obtener ganancias adecuadas. Esta tendencia a su vez puede ocasionar que la inversión en el desarrollo de tecnología se enfoque a obtener avances incrementales casi inmediatamente incorporables a las instalaciones existentes y se trate de hacer que el estado asuma el riesgo que entrañan los desarrollos de largo plazo. En respuesta a esto, en al menos un caso, se han establecido reglamentaciones para que el estado asuma la administración de fondos para la investigación y desarrollo provenientes de aportaciones de los concesionarios, aportaciones cuyos montos se basan en las ventas totales.

3.1.2. Ambiente

En 1996 se liberaron hacia la atmósfera 22 700 Mt de CO₂. La preocupación por el cambio climático ha dado lugar, como se sabe, a la suscripción de diversos convenios encaminados a reducir la rapidez del aumento de las emisiones (el acuerdo más reciente está dado por el Protocolo de Kyoto). Se prevé una disminución de las emisiones debida al empleo de tecnologías avanzadas para la combustión de hidrocarburos (mismas que en general ayudan a la competitividad económica de las centrales) y a la tendencia observada de reemplazar la combustión directa en muchos procesos industriales y domésticos, por electricidad. Actualmente, el sector es la fuente de una tercera parte de las emisiones y el reto planteado es el de mantener y aún disminuir esta contribución a pesar de la electrificación experimentada tanto de procesos industriales como de actividades cotidianas.

3.2. Consumo

La energía total empleada en un país aumenta con su crecimiento económico. Sin embargo, en los países desarrollados la intensidad energética ha disminuído apreciablemente. Por

otra parte, el empleo de la electricidad no mantiene una relación directa con el crecimiento económico, ya que se observan aumentos en el consumo aún en los periodos en los que el PIB ha disminuído.

En los países emergentes la intensidad eléctrica es alta, si bien registra en general una tendencia a la baja derivada del empleo de tecnologías que aumentan la eficiencia y son más apropiadas y accesibles para la población, evitando tramos desventajosos del camino que recorrieron los países desarrollados.

El aumento en el consumo de electricidad al que nos hemos ya referido y que se cree que continuará experimentándose durante los próximos 25 años está originado por los siguientes factores: el aumento del uso de la energía en general; la electrificación de la economía; la sustitución de la combustión directa que también ya se ha mencionado y la tendencia a evitar el establecimiento de industrias pesadas, con alto empleo de combustible, y favorecer la implantación de economías de servicios y manufacturas ligeras.

3.3. Selección de combustible y de tecnología

De una manera general, puede decirse que los principales factores que determinan la selección son los siguientes:

- Los combustibles producidos en el país;
- Los costos: El precio de los combustibles; el precio de generación para cada tecnología; la relación entre el costo del capital y el costo del combustible;
- La forma de la demanda (base vs. pico e intermedia);
- Los aspectos legales y reglamentarios (p.e., las restricciones impuestas para proteger el ambiente)

Existen también otros factores que en algunos casos tienen una influencia más marcada en la selección de la tecnología tales como el aumento en la disponibilidad del gas natural, los avances tecnológicos en las turbinas de gas (mismos que permiten emplear unidades más pequeñas y la autogeneración y cogeneración a costos reducidos) y la existencia de una opinión pública con representación fuerte (por ejemplo, este ha sido un factor determinante, aunque no el único ni el más influyente en la disminución del uso de la nucleoelectricidad).

En muchos países, incluyendo a México, todo esto ha favorecido el uso de tecnologías a base de gas natural. En otros casos (China y sur de Asia) al carbón y en Centro y Sudamérica a la hidroelectricidad.

4. Situación actual de la electricidad

Conviene ahora resumir los aspectos más relevantes que caracterizan actualmente a la energía eléctrica:

- La electricidad es y continuará siendo la parte con crecimiento más rápido de la demanda mundial de energía.

- La generación de electricidad es ahora dos veces la que había hace veinte años.
- Ha disminuído la contribución del petróleo y aumentado la de la energía nuclear.
- Dos terceras partes de la generación se basan en combustibles fósiles, la generación nuclear representa un 18% y la generación mediante otros energéticos el 19%.
- La generación a base de carbón y gas natural es el doble de la que había hace 20 años. La contribución de éstos a la generación total se ha mantenido constante.

4.1. El futuro de la electricidad

Entre 1995 y 2020 aumentará el consumo de la electricidad del mundo de 12 PWh a 23 PWh. En los países industrializados se consumirán poco más de 11 PWh, o sea 4 PWh más que en 1995. Por lo que respecta a los países en desarrollo, éstos consumirán 10 PWh en 2020. Los restantes 2 PWh serán consumidos en Europa del Este y la anterior URSS.

4.1.1. Combustibles primarios empleados para la generación

La generación durante el periodo tendrá según se predice, las siguientes características relativas a la contribución de los diversos energéticos primarios:

Carbón: mantendrá su nivel de participación actual (36%).

Gas natural: pasará del 16% en 1995 a casi el 25% en 2020.

Nuclear: su empleo disminuirá, pasando del 17% actual a 9%.

Petróleo: disminuirá levemente su contribución, del 9.4% a 9%.

Renovables: mantendrán su participación actual de 21.6% (21% en 2020).

Cabe mencionar que si bien en términos relativos la contribución de las fuentes renovables sólo se sostiene, en cantidades absolutas su generación deberá al menos duplicarse en el periodo.

4.1.2. Financiamiento

El escenario predicho implica que las necesidades de financiamiento para suministrar la electricidad en el periodo sean como sigue [3]: la inversión total en el mundo deberá ser de más de 2.3 T\$, de éstos, 1.5 T\$ deberán ser invertidos en los países en desarrollo. Destaca el hecho de que en América Latina, la inversión en fuentes renovables para generación será de 52 G\$ de un total de inversiones de 108 G\$. Por lo que respecta a las diferentes componentes del sistema eléctrico, la inversión global se distribuye como sigue: en generación 1425 G\$; en transmisión, distribución y otros 850 G\$. La

inversión promedio anual en el mundo será de 15 G\$ y en América Latina de 13 G\$.

Se considera que el mercado mundial de capital y el "pool" mundial de ahorros es adecuado para financiar la inversión; sin embargo, en algunos países los capitales foráneos no acudirán si no se hacen antes reformas difíciles de aceptar. Las necesidades de países con gran población como Brasil, China, India, Indonesia y Paquistán están más allá de las posibilidades de sus mercados domésticos de capital o de los recursos gubernamentales.

5. México

La Secretaría de Energía, en la Ref. 3, proporciona los resultados relativos a las predicciones para el periodo 1998–2002 las cuales han sido elaboradas considerando los siguientes parámetros:

- Tasa de crecimiento del PIB: 5.1%.
- Crecimiento poblacional medio: 1.3%.
- Crecimiento anual del número de viviendas: 2.5%.
- Tasa de crecimiento del autoabastecimiento: 7.7%.

5.1. Demanda 1998–2007

Con todo ésto y considerando un crecimiento menor en los dos próximos años se tiene: Las ventas serán de 155.5 TWh en 2000 y de 229.5 TWh en 2007. En promedio se experimentará una tasa anual de crecimiento del 5.8%, (se han tomado en cuenta los ahorros por horario de verano y otros programas).

5.2. Capacidad (generación y transmisión)

Se estima entonces que se deben incorporar al sistema 21 743 MW en el periodo, lo cual implica un aumento promedio de 2174 MW por año. En la prospectiva mencionada se establece que:

La capacidad comprometida o en proceso de construcción es de 6959.3 MW.

Se retirarán en el periodo 2019 MW.

La capacidad adicional no comprometida es de 14 784 MW.

Por lo que se refiere a la red de transmisión, esta deberá expandirse de manera que entre 1999 y 2001 se agreguen 2796 km de líneas con una capacidad de 6632 MVA.

En total, para los próximos 5 años se adicionarán 23 836 km, en voltajes de 69 kV a 400 kV, con una capacidad de 39 289 MVA.

Para el resto del periodo (entre 2003 y 2007) la longitud que se agregará será de 14 068 km, con una capacidad de 23 397 MVA.

5.3. Inversión necesaria

Considerando la generación que deberá añadirse, la expansión de la red de transmisión y distribución, el mantenimiento, el pago por arrendamientos y otras inversiones, la inversión total en el periodo (1998–2007) es de 462 957 millones de pesos de 1999, los cuales están desglosados como sigue:

- Generación: 167 000 M\$.
- Transmisión: 90 000 M\$.
- Distribución: 68 000 M\$.
- Mantenimiento mayor: 69 000 M\$.
- Ingeniería y otras: 14 000 M\$.
- Pago de capital: 54 000 M\$.

6. Consideraciones finales

Se ha intentado presentar los panoramas esbozados por la Agencia Internacional de Energía, con una amplitud mundial y el correspondiente a México definido por la Secretaría de Energía. Entre los aspectos más relevantes se encuentra el relativo al financiamiento, tema que ha ocupado un lugar primordial en el actual debate sobre la reestructuración del sector eléctrico. Es nuestro sentir que existen otros dos aspectos que si bien surgen frecuentemente en el debate mencionado, no han recibido la atención adecuada, estos temas son los de la investigación y desarrollo y el del ambiente. La liga entre ambos es evidente ya que una forma de reducir las emisiones de CO₂ consiste en desarrollar tecnologías con ese objeto. La reducción de las emisiones es importante pero los impactos locales ocasionados por las instalaciones de generación y transmisión también lo son y quizá en mayor medida. Es de esperarse que en las disposiciones legales no se omitan tan importantes factores.

1. Prospectiva del Sector Eléctrico 1998–2007.

2. Publicación de la Secretaría de Energía: *Balance Nacional de*

Energía 1996.

3. Reporte DOE/IEA-0484(98).