

El sector eléctrico de México hacia el año 2000

Roberto Gutiérrez R. *

Desde hace tiempo se debate en México la política sobre las fuentes primarias de energía susceptibles de transformarse en fluido eléctrico. Sin embargo, desde principios de los ochenta ha crecido de manera considerable el número de los interesados en el examen de esta cuestión que afecta virtualmente a la sociedad toda y a sus distintos ámbitos, el social, el cultural, el político y el económico, así como a todos los estratos de la población. Este interés renovado se debe particularmente a dos razones:

Una es la aparición, en 1980 y 1984, de los dos primeros ejercicios serios y globales de planeación energética, ambos surgidos del seno del Gobierno.¹ En estos trabajos se difundían hechos previamente poco debatidos, pero no por ello carentes de trascendental importancia. Por una parte, se ponía de manifiesto que la participación en la capacidad instalada total de las plantas termoeléctricas operadas a base de hidrocarburos había pasado

de 45% en 1962 a 53% en 1972 y a 62.5% en 1979 (véase el cuadro 1). Acaso esto se explique por la abundancia de petróleo o por errores de planeación imputables al rápido ritmo a que fue necesario que creciera la industria eléctrica estatal durante el período de la posguerra. Por otra, se daba a conocer que 93% de la energía primaria consumida en el territorio nacional estaba constituido precisamente por hidrocarburos, proporción sin paralelo en ningún país con un nivel de desarrollo similar al de México.

Otra es la expectativa desfavorable que generó entre algunos observadores de la capital del país y pobladores de una porción importante del estado de Veracruz la puesta en marcha de la nucleoelectrica de Laguna Verde. Dicha expectativa se fundamentó en gran medida en las experiencias de Three Miles Island, Estados Unidos, y de Chernobyl, Unión Soviética. Los temores inherentes, resultado de la extrapolación de hechos, se difundieron por medio de una corriente internacional originada en Estados Unidos y Europa Occidental, la cual ya había coadyuvado en su momento a que los partidos ecologistas de varios países, particularmente la RFA, se convirtieran en una verdadera fuerza política. Así, por ejemplo, el Partido Verde alemán tiene desde hace tiempo representantes en el Bundestag. Sin embargo, el poder de estas organizaciones sigue siendo limitado en otras naciones, como Francia, pese a que casi 70% del fluido eléctrico proviene de plantas nucleares en dicho país. En la URSS se mantuvo el programa nucleoelectrico previo a 1986, con la salvedad de

1. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (Sepafin), *Programa de Energía. Metas a 1990 y proyecciones al año 2000 (PE)*, México, 1980, y SEMIP, *Programa Nacional de Energéticos 1984-1988 (Prone)*, México, 1984.

* Profesor de economía en la Universidad Autónoma Metropolitana, plantel Xochimilco, México.

CUADRO 1

Capacidad instalada en el sector eléctrico nacional, 1960-1988
(Megawatts)

Año	Hidroeléctrica	%	Termoeléctrica ¹	%	Carboeléctrica	%	Geotermoeléctrica	%	Nucleoeléctrica	%	Total
1960	1 200	52.0	1 108	48.0	—	—	—	—	—	—	2 308
1961	1 205	49.5	1 230	50.5	—	—	—	—	—	—	2 435
1962	1 436	55.0	1 176	45.0	—	—	—	—	—	—	2 612
1963	1 501	46.3	1 743	53.7	—	—	—	—	—	—	3 244
1964	1 746	47.7	1 918	52.3	—	—	—	—	—	—	3 664
1965	2 149	51.6	2 016	48.4	—	—	—	—	—	—	4 165
1966	2 482	55.0	2 033	45.0	—	—	—	—	—	—	4 515
1967	2 511	54.1	2 131	45.9	—	—	—	—	—	—	4 642
1968	2 509	52.3	2 228	47.7	—	—	—	—	—	—	4 797
1969	3 229	57.1	2 288	42.9	—	—	—	—	—	—	5 658
1970	3 238	53.2	2 840	46.8	—	—	—	—	—	—	6 068
1971	3 227	49.7	3 271	50.3	—	—	—	—	—	—	6 498
1972	3 228	46.7	3 685	53.3	—	—	—	—	—	—	6 913
1973	3 446	44.6	4 205	54.4	—	—	75	1.0	—	—	7 726
1974	3 521	42.1	4 775	57.0	—	—	75	0.9	—	—	8 371
1975	4 044	41.1	5 786	58.1	—	—	75	0.8	—	—	9 830
1976	4 541	39.6	6 918	59.7	—	—	75	0.7	—	—	11 459
1977	4 723	39.1	7 369	60.3	—	—	75	0.6	—	—	12 092
1978	5 225	37.3	8 767	52.2	—	—	75	0.5	—	—	13 992
1979	5 219	36.5	8 929	62.5	—	—	150	1.0	—	—	14 298
1980	5 992	41.0	8 483	58.0	—	—	150	1.0	—	—	14 625
1981	6 550	37.7	10 366	59.6	300	1.7	180	1.0	—	—	17 396
1982	6 550	35.6	11 335	61.7	300	1.6	205	1.1	—	—	18 390
1983	6 532	34.4	11 667	61.4	600	3.1	205	1.1	—	—	19 004
1984	6 532	33.7	12 023	62.1	600	3.1	205	1.1	—	—	19 360
1985	6 532	31.4	12 950	62.2	900	4.4	425	2.0	—	—	20 807
1986	6 532	30.7	13 299	62.6	900	4.2	535	2.5	—	—	21 266
1987 ^a	7 704	32.9	13 850	59.2	1 200	5.1	650	2.8	—	—	23 404
1988 ^b	7 724	31.0	14 708	59.0	1 200	4.8	655	2.6	654	2.6	24 941

1. A base de hidrocarburos. Actualmente, 75% de estas plantas opera con combustóleo y de éstas 54% puede utilizar también gas natural.

a. Preliminar.

b. Proyecciones propias. Las cifras implican un rezago de uno a dos años en la ejecución de algunos proyectos del Programa Nacional de Energéticos 1984-1988. Ello es congruente con una tasa de crecimiento del PIB menor a la proyectada en dicho documento y a severas restricciones presupuestarias no consideradas originalmente.

Fuentes: SPP y CFE, *El sector eléctrico en México*, México, 1984, y CFE, diferentes documentos.

que se decidió suprimir la instalación de reactores tipo Chernobyl.²

En el fondo del debate sobre la combinación óptima de fuentes primarias de energía destinadas al sector eléctrico hay factores que muchas veces se examinan de manera superficial y que es preciso ponderar con mucho cuidado. Éstos son fundamentalmente cinco: 1) el verdadero potencial energético del país; 2) la localización geográfica de las fuentes primarias de energía; 3) los gastos de transformación de la energía primaria en energía secundaria; 4) el futuro desarrollo tecnológico de México, en el que el sector eléctrico puede ser de importancia básica, y 5) la posición financiera de la industria eléctrica, que responde a los vai-

venes de la situación económica nacional, no obstante que la demanda de electricidad tiende a crecer de manera permanente.

Para un país como México, que no dispone de suficiente tecnología eléctrica ni de recursos para allegársela de manera acelerada, la diversificación energética óptima sigue siendo materia de largo plazo. Empero, en varios tipos de energía primaria ya se ha rebasado el umbral de la curva de aprendizaje, lo que favorece el tendido del puente entre la generación a base de hidrocarburos y la procedente de otras fuentes. El inicio del siglo próximo ha de verse como la fecha en que, objetivamente, se podría esperar un cambio fundamental de las condiciones actuales. Los años intermedios deben tomarse como un período de consolidación con tendencias casi irreversibles (excepto por rezagos imprevistos en el programa de inversiones) y con pocas posibilidades de modificación, aun en el caso de un nuevo descenso del precio internacional del petróleo o de una recuperación inusitada de la actividad económica.

2. "Quintuplica la Unión Soviética el número de sus plantas atómicas", declaración del ministro de Ingeniería Nuclear de la URSS, V. V. Lapshin, en *El Universal*, 28 de julio de 1987.

Hoy, lo mismo que cuando los precios del petróleo estaban en su más alto nivel histórico (1980 y 1981), la excesiva dependencia respecto a las plantas termoeléctricas operadas a base de hidrocarburos resulta nociva para el país. Si esto se acepta, cabe preguntarse: ¿qué opciones quedan a México, suponiendo que de ahora al año 2000 se pretende consolidar el propósito establecido en diferentes documentos de planeación energética de reducir la participación de dichas unidades en la generación de electricidad de 60 a 42-47 por ciento? Desde los puntos de vista institucional, técnico, económico y comercial, la viabilidad se restringe a cuatro posibilidades: fuerza hidráulica, carbón, geotermia y energía nuclear. Quedan fuera en el corto plazo la solar, la eólica y la biomasa, aunque esta última la consume de manera no comercial o informal un amplio estrato de la población.³

Lo anterior significa que el desarrollo eléctrico de México durante el resto del siglo, por lo menos, deberá circunscribirse a las áreas que ha delimitado la CFE, virtual monopolio de esta industria en el territorio nacional y controladora directa o indirecta de los dos centros de investigación de dicho sector, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Asimismo, su poder sobre la rama del carbón térmico o no coquizable es evidente, en virtud de que es un monopolio natural de la Minería Carbonífera Río Escondido (Micare), única empresa exploradora y explotadora de este energético.

Hidroelectricidad

México ha avanzado considerablemente en macrohidroelectricidad debido a que ya aprovecha la mayoría de sus grandes cuencas, donde obtiene economías de escala. Así, a largo plazo, el futuro de esta fuente se cifra en gran medida en la microhidroelectricidad, virtualmente inexplorada, a pesar de que el potencial económicamente aprovechable permitiría instalar más de 12 000 megawatts (MW) de capacidad, en tanto que el potencial teórico bruto de las cuencas pequeñas y medianas ascendía en 1978 a más de 32 000 MW, según cálculos de la CFE.⁴ Lo anterior quiere decir que, a los costos actuales de transformación y distribución, México dispone de una capacidad microhidroeléctrica equivalente a cerca de 50% de la capacidad instalada total, que se basa en cinco fuentes de energía: hidrocarburos, fuerza hidráulica, carbón, geotermia y energía nuclear. Por otra parte, conforme a estimaciones recientes de la CFE, la hidroelectricidad en su conjunto sólo se explota en 17%, lo que indica que el potencial total de esta fuente es de más de 40 000 MW.⁵

Se podría considerar que México es un país bien dotado de

3. Este estrato corresponde a una porción muy grande de la comunidad rural del país, la cual representa alrededor de 35% del total de habitantes.

4. "Perfil energético de México", en *Energéticos*, año 3, núm. 8, Sepafin, agosto de 1979, p. 31. Según estimaciones más recientes, el potencial hidrológico de México económicamente aprovechable asciende a 80 terawatts hora (TWh), equivalentes a 22 000 MW. [Tera: prefijo que indica 10^{12} .] De éste sólo se explota hoy 31% en la forma de macrohidroelectricidad. Deducido de la aplicación de cifras del Prone a la capacidad instalada actual (cuadro 1).

5. Véanse las declaraciones de Agustín Cárdenas Baro, gerente de Proyectos Hidroeléctricos de la CFE, recogidas en *El Financiero*, 21 de agosto de 1987.

recursos hidráulicos. Entonces, ¿por qué no se especializa en hidroelectricidad, como lo ha hecho China, y como lo hizo parcialmente nuestro país hasta 1986, cuando dicha modalidad aún representaba 55% de la capacidad instalada total? Para responder adecuadamente es preciso considerar tres elementos importantes.

El primero es la seguridad en el suministro. Como se demostró en 1980, ésta no es tan grande como podría creerse. En efecto, en dicho año, debido a la desafortunada combinación de tres factores (reducción del nivel de los embalses por falta de lluvias, crecimiento de la demanda debido a una mayor actividad económica y enorme disminución de la reserva de potencia, es decir, de la capacidad adicional en relación con la demanda máxima anual) hubo interrupciones constantes en la generación de energía que afectaron la actividad productiva. Entonces la hidroelectricidad representaba 41% de la capacidad instalada. Hoy es de 31%, y aunque el coeficiente de reserva (10.8) es casi tan bajo como en aquel año, la seguridad es mucho mayor, ya que no se depende tanto de la precipitación pluvial, sujeta en última instancia al capricho de la naturaleza.

El segundo elemento es de carácter estrictamente económico. De 1980 a 1985 el factor de planta promedio (tiempo de uso de la capacidad instalada) fue de 40% en las hidroeléctricas y de 50% en las termoeléctricas. Así, en términos relativos, éstas se utilizaron 20% más que aquéllas. Por otra parte, un programa eléctrico de largo plazo que se base fundamentalmente en la hidroelectricidad debe considerar las relaciones entre el costo de producción, el monto de las inversiones y el tiempo necesario de cada proyecto. Por ello, el costo de producir una unidad de energía mediante hidroelectricidad es mucho menor que el de las plantas termoeléctricas que consumen hidrocarburos, pero el costo de inversión de la primera modalidad, así como su período de maduración, es significativamente mayor. Esto plantea graves dificultades en el corto plazo, pues a menudo los presupuestos son muy limitados (por ejemplo, durante el período 1981-1986 el gasto de inversión real del sector eléctrico de México disminuyó a una tasa media anual de casi 15%), en tanto que la demanda de fluido eléctrico no cesa de crecer.

Otro dato que vale la pena tener en mente es que, según el Programa de Energía (p. 51), los costos totales de generación eléctrica de nuevas plantas a precios de 1979, cuando los de los hidrocarburos habían subido a niveles sin precedente, eran de 48 centavos por kilowatt/hora (kWh) en las hidroeléctricas y de 69 centavos en las termoeléctricas; dicha diferencia (44%) podría disminuir si el mismo cálculo se efectúa en un momento de menores precios internacionales del combustible. Esto último no es, por supuesto, un argumento contra la diversificación energética, pero tampoco es un punto en favor de la utilización indiscriminada de la hidroelectricidad.

El tercer elemento es la localización geográfica. Por desgracia, el potencial hidrológico de México tiene una ubicación muy desigual con respecto a los asentamientos humanos. Las regiones de generación hidroeléctrica son cinco: Grijalva, en Chiapas, que genera más de 50% del total de la hidroelectricidad nacional; Balsas-Santiago, en Michoacán y Jalisco, responsable de alrededor de 20% del total; Ixtapantongo, en Guerrero y Morelos, que produce alrededor de 10%; Papaloapan, en Veracruz, y Yaqui-Mayo,

Principales centros de generación eléctrica (Megawatts)



Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

en Sonora, que contribuyen en conjunto con menos de 5%.⁶ (Véase el mapa 1.) Todas estas zonas están lejos del centro de la República, donde se concentra casi 50% de la población y de la actividad económica del país. En el proceso de distribución se desperdicia alrededor de 13% de la energía inyectada al sistema, cifra que crece en relación directa con la distancia entre el punto de generación y el centro de consumo.

Tienen razón quienes afirman que México desperdicia su potencial microhidroeléctrico. Sin embargo, conviene recordar que, dados los factores ya señalados de planta y de pérdidas en la distribución, aun explotando dicho potencial plenamente sólo sería posible satisfacer las necesidades de consumo de 25-35 por ciento de la población, sobre todo la asentada en pequeñas comunidades. Los ejercicios de planeación de 1980 y 1984 muestran que

aproximadamente 20 millones de mexicanos carecen por completo de fluido eléctrico. Para ellos se formuló un programa de electrificación rural que bien podría encontrar en la microhidroelectricidad uno de sus más firmes puntos de apoyo.

Carboelectricidad

Esta fuente de energía primaria, junto con la nucleoelectricidad, es la que ha ganado mayor importancia en los balances energéticos de los países industriales. Según algunas proyecciones de la Agencia Internacional de Energía, la parte del carbón en la producción total de energía de los países de la OCDE subirá de 32.5% en 1983 a 39.2% en el año 2000, y no precisamente con el fin de tener mayores excedentes exportables. Entonces el carbón se convertirá, una vez más, en la principal fuente de energía primaria de la mayoría de estos países, como lo fue hasta los años cincuenta, cuando lo desplazó el petróleo, por su mayor ver-

6. Perfil energético de México, op. cit., p. 28.

satilidad. El aporte del carbón a la energía eléctrica producida habrá de aumentar, seguido por el uranio, la hidroenergía y la geotermia, como consecuencia de una baja considerable de la parte representada por los hidrocarburos en la generación de electricidad: la del petróleo bajará de 11.2% en 1985 a 8.7% en 1990 y a 4.6% en el año 2000; la del gas lo hará a un ritmo similar.⁷

La tendencia anterior, aún más marcada en los países socialistas, se hace posible debido a que la mayor parte de las reservas probadas de carbón se localiza en el norte (84.4%). Por regiones, se distribuye así: Europa Occidental (9.4%), América del Norte (26.6%) y los países socialistas (48.4%). Las reservas totales de América Latina reconocidas internacionalmente son de menos de 7 000 millones de toneladas (0.7% del total mundial) y las de México de apenas 1 917 millones de toneladas (0.2% de las mundiales).⁸ Si sólo se consideran las reservas de carbón térmico, que son las que interesan a la CFE, éstas llegaron en diciembre de 1986 a 942 millones de toneladas: 75% probadas, 12% probables y 14% posibles. Por supuesto, no todas ellas son recuperables, y eso impone una limitación más al futuro de la carboelectricidad en México. Se considera, por ejemplo, que de los 413 millones de toneladas de reservas descubiertas en la cuenca Fuentes-Río Escondido, Coahuila, sólo 296 millones son recuperables (72% del total). Un problema adicional es la inequitativa distribución de las reservas de carbón térmico. En la cuenca citada se concentra 44% del total nacional; el resto se ubica en sólo otras tres áreas, todas muy distantes de los principales centros de consumo eléctrico del país: cuenca carbonífera de Sabinas, Coahuila; sitios de Santa Clara y San Marcial, Sonora, y sitios de Tlaxiaco, Consuelo, Mixtepec y Tlacotepec, en Oaxaca. Existen muchas regiones con posibilidades, pero aún no se han sometido a un reconocimiento parcial o preliminar.

Las reservas recuperables plenamente identificadas permiten garantizar el suministro de carbón no coquizable durante 37 años para una capacidad instalada de 2 600 MW (equivalente a las plantas carboeléctricas de Río Escondido y Carbón II). En los proyectos de largo plazo del sector eléctrico se consideran dos plantas duales, Lázaro Cárdenas y Altamira, con lo que la carbohidroelectricidad podría aumentar su participación en la capacidad instalada de 4.2% en 1986 a 15% en 1995. Empero, es preciso reconocer que esta meta es muy ambiciosa. Para alcanzarla será necesario recurrir a una opción que hasta ahora no tiene precedente en fuente alguna de energía primaria, y que desde 1984 dejó claramente señalada el Programa Nacional de Energéticos 1984-1988 (Prone), al aceptar la eventualidad de "establecer selectivamente proyectos de coparticipación para la explotación del potencial carbonífero de otros países, que resulten convenientes para el desarrollo de la carboelectricidad en el país" (p. 83). Además, según Guillermo Perry, ministro de Energía y Minas de Colombia, "hacia 1990 México comprará de 1.5 a 3 millones de toneladas de carbón por año, y sus necesidades serán de 6 millones y de 10 millones para 1997 y 2000, respectivamente. De todo este volumen, Colombia podría suministrar el 50 por ciento."⁹

Como podrá observarse, en las condiciones actuales el car-

bón tampoco parece ser la fuente de energía primaria que permitiría a México revertir plenamente su dependencia con respecto a los hidrocarburos.

Geotermoelectricidad

Esta modalidad ya no es una quimera. Desde principios de los setenta aparece en el balance energético del país. Su desarrollo se ha circunscrito hasta ahora a las tres unidades concluidas de Cerro Prieto (Baja California Norte) y a algunos proyectos menores en Los Azúfres y Tejamaniles (Hidalgo, Michoacán), Cancún, Ciudad del Carmen y Chetumal. A ellos se habrán de agregar Cerro Prieto IV y Chino, entre otros. La capacidad instalada nacional por este concepto ascendió en 1987 a 650 MW, que representaron 2.8% de la total de la CFE. Así, México se convirtió en el primer productor de este tipo de energía en el mundo. Pese a ello, el panorama geotermoelectrónico de largo plazo del país es relativamente limitado. Si bien es cierto que por las características volcánicas del territorio nacional, existe este tipo de energía en todo el país (sobre todo, aunque de manera atomizada, en el centro de la República), su explotación comercial depende de muchos factores aún no resueltos. Se habla actualmente de reservas cuantificadas del orden de 12 600 MW, no todas probadas. Se espera, sin embargo, que la cifra siga aumentando. Sólo en la Sierra Volcánica Transversal y en el valle de Mexicali sería posible contar con una capacidad instalada de 12 000 MW, según se estima. El costo de generación de cada una de estas nuevas plantas sería de 37 centavos por kWh a precios de 1979, el más bajo de todas las fuentes de energía primaria que se consideran en este trabajo. No obstante, como en el caso de la microhidroelectricidad, sus alcances serían locales y persistiría el problema del suministro a las ciudades grandes y medianas.

Nucleoelectricidad

Es claro que, en el ámbito internacional, y a pesar de las experiencias de Three Miles Island y Chernobyl, el futuro de esta fuente energética parece promisorio. Respalda esta tendencia, que se viene gestando desde hace varias décadas, cuantiosos recursos físicos, humanos, tecnológicos y financieros. Los problemas de contaminación nuclear y disposición de los desechos tienen en principio una solución científica. Además, cabe recordar que, de acuerdo con las estadísticas internacionales, por cada 10 000 millones de kWh de electricidad generados en el mundo se han registrado 100 muertes si la fuente primaria es el carbón, 80 si es el petróleo y 3 si se trata de reactores nucleares.

Cuanto más se involucra un país en el manejo de la tecnología nucleoelectrónica, tanto más aprende a controlarla. Francia es un ejemplo. Por ello, y por la velocidad a la que cambia dicha tecnología, no es conveniente llegar muy tarde a su manejo. Desde hace muchos años, países con un nivel de desarrollo similar al de México, como Argentina, Brasil, la India, Taiwán y Corea del Sur, la aprovechan plenamente y les sirve no sólo en el terreno eléctrico, sino también, de manera directa o indirecta, en el médico, el industrial y de defensa. En total, se calcula que alrededor de 15 países en desarrollo utilizan o están a punto de utilizar la

7. Agencia Internacional de Energía (AIE), *Energy Policies and Programmes of IEA Countries 1983 Review*, AIE-OCDE, 1984, p. 46.

8. British Petroleum, *B.P. Statistical Review of World Energy*, Londres, junio de 1987, p. 25.

9. "México será el principal comprador de carbón térmico colombiano", en *El Nacional*, 14 de noviembre de 1987.

energía nuclear. Ninguno de ellos ha sufrido un accidente nucleoelectrónico serio.¹⁰

El conocimiento científico tiene la virtud del "efecto de la bola de nieve". También la de los saltos intersectoriales. Numerosas industrias nunca se habrían expandido de no ser por el impulso científico y tecnológico obtenido en actividades paralelas. Tal es el caso de la aeronáutica civil y del autotransporte, que deben mucho a los avances logrados en los respectivos sectores militares. También es el caso de la medicina (gracias a que se inventaron el microscopio y los rayos láser) y de las comunicaciones (gracias a los satélites), por citar sólo algunos ejemplos.¹¹ Sustraerse al desarrollo científico que estos avances entrañan es renunciar por siempre a superar el nivel de país tecnológicamente imitador, y dejar para otros las tareas de invención e innovación.

La inversión acumulada en la nucleoelectrónica de Laguna Verde se calcula entre 2 200 y 3 500 millones de dólares, según los métodos y las fuentes considerados. Dicho rango representa muchísimo más dinero del comprometido en la mayor parte del resto de los proyectos eléctricos. No se trata en realidad de una inversión como las que tradicionalmente hacía México en electricidad, que requerían de un período de maduración más o menos predeterminado y relativamente más corto. Se trata de un proyecto de muy largo plazo, que además de contribuir a la diversificación energética, coloca al país en un plano tecnológico superior. Los recursos humanos que operan la planta son pioneros en el mismo sentido en que lo fueron los que hicieron funcionar la industria petrolera a partir de la nacionalización de 1938. En su momento, nadie creyó en ellos. Esta industria, eminentemente mexicana, un día fue extranjera y tuvo que nutrirse de experiencias ajenas para convertirse en la primera del país. En ella no sólo es muy bajo el contenido importado; además de hidrocarburos, exporta procesos tecnológicos y conocimientos. Poco o nada se hubiera logrado si se hubiese aplazado indefinidamente la decisión de "aprender haciéndolo".

Cuando trabajen plenamente las dos unidades de Laguna Verde, la CFE logrará sustituir 5% de sus fuentes de energía primaria convencional, equivalentes a más de 20 000 b/d de petróleo. Además, presionará en favor del desarrollo científico y tecnológico del país y apoyará el nacimiento de una industria colateral para satisfacer en algún momento las necesidades de piezas y equipo especializado, lo que contribuirá a reducir los costos de operación y mantenimiento. Esto ya lo está logrando la CFE en la mayoría de sus adquisiciones convencionales. El contenido importado de maquinaria y equipo, de más de 50% a principios del decenio de los ochenta, ha bajado a menos de 30% en la actualidad.

Las reservas de uranio cabalmente identificadas no bastan para sostener un desarrollo muy amplio de la nucleoelectricidad.

10. Lo acontecido en Goiânia, Brasil, en septiembre de 1987, fue muy impresionante. Por ignorancia y descuido, se fugaron 100 gramos de polvo radiactivo "cesio 137", contenidos en un equipo de radioterapia abandonado en un edificio en ruinas y roto a martillazos. En última instancia, el accidente es imputable a las autoridades médicas del país. Percances de este tipo no pueden extrapolarse a la nucleoelectricidad.

11. Véase al respecto Nathan Rosenberg, "Technological Interdependence in the American Economy", en *Technology and Culture*, enero de 1979. Reimpreso en N. Rosenberg, *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

Si no se incorporan nuevos yacimientos, es posible que las dos unidades de Laguna Verde, por sí solas, consuman los conocidos en alrededor de 60% a lo largo de su vida útil. Además, no se ha planteado la posibilidad de depender del uranio de otros países para proyectos futuros, como en el caso del carbón.

Hacia el fin de siglo

La sustitución parcial de las plantas termoeléctricas alimentadas con hidrocarburos es irreversible, aun en el caso de que se descubran nuevos yacimientos petrolíferos en el país o de que baje más el precio internacional de este energético. De aquí al año 2000 habrá una transición. En dicho período habrán de consolidarse proyectos actualmente en marcha o cercanos a iniciarse. Gracias a ello es posible tener una visión más o menos segura de lo que será el sector eléctrico de México a finales de este siglo.

De 1960 a 1980 la industria eléctrica creció a una tasa media anual de 9.7%, es decir, duplicó su capacidad instalada cada siete años y medio. Esto hizo de México el país con mayor capacidad de generación entre las naciones en vías de desarrollo, después de la India, cuya población es cerca de ocho veces mayor, y de Brasil, con una población 70% superior a la nuestra y una extensión territorial cinco veces mayor. Estas cifras evidencian el papel crucial del sector eléctrico como promotor del desarrollo económico. A pesar de ello, México tiene un bajísimo consumo de energía eléctrica per cápita: una décima parte del de Estados Unidos y la cuarta parte del de Francia, Japón o la URSS. Colateralmente, este tipo de energía representa sólo 6.7% de la energía secundaria total que se consume en el país, cifra que de acuerdo con las estadísticas de los organismos internacionales contrasta con el promedio mundial de 12.3% en 1982. Países muy electrificados como Noruega y Suecia tienen coeficientes de 42.3 y 31 por ciento, respectivamente. Incluso en los de nivel de desarrollo similar al de México, esos indicadores son más altos: 20.9% en Brasil y 10.3% en Corea del Sur.¹²

Frente a una tasa de crecimiento medio anual del PIB de 6.5% de 1960 a 1980, la cifra de producción de electricidad conduce a una elasticidad-ingreso de generación de fluido igual a 1.49. A partir de 1983, y hasta 1986, en que el PIB tuvo una tasa media de crecimiento de 0.8%, el sector eléctrico creció al ritmo de 3.8% (véase el cuadro 2). Así, la elasticidad correspondiente fue de 4.75. En los últimos años se ha roto la relación de causalidad entre crecimiento del PIB y aumento de la demanda de energía, lo que significa que la referente a electricidad es insensible a reducciones del ingreso, ya sea global o per cápita. Y esto ocurre en un país en expansión y donde hay muchas necesidades de energía insatisfechas. A mayor abundamiento, las alzas en los precios no han contribuido a reducir el consumo, y éstas han sido considerables. Así lo demuestra el hecho de que la relación precio medio-costo medio de la industria eléctrica haya subido de casi 0.64 en 1982 a más de 0.75 en 1986. Esto no quiere decir, por supuesto, que la industria sea autosuficiente desde el punto de vista financiero, puesto que, a pesar de todo, sus precios medios han aumentado durante los últimos años más lentamente que la inflación.

12. Véanse, por ejemplo, las estadísticas publicadas en Sepafin, *op. cit.*; Instituto Mexicano del Petróleo, *Energéticos*, México, 1977, y SPP-CFE, *El sector eléctrico en México*, México, 1984.

CUADRO 2

Elasticidades-ingreso de la demanda de energía eléctrica, 1960-1986

Período	Tasa media de crecimiento anual		
	Electricidad (capacidad instalada)	PIB	Elasticidad
1960-1986	8.9	5.2	1.71
1960-1980	9.7	6.5	1.49
1960-1970	10.2	6.5	1.57
1970-1980	9.2	6.6	1.39
1976-1982	8.2	6.0	1.37
1980-1986	6.4	0.7	9.14
1982-1986	3.7	-0.7	-5.29 ^a
1983-1986	3.8	0.8	4.75

a. Implica que por cada punto porcentual que se reduce el PIB, el consumo de energía eléctrica aumenta 5.29 puntos porcentuales. El resultado es dudoso, por lo que es más realista basarse en la cifra correspondiente a 1983-1986.

dientes al período 1988-1996 son más conservadoras que las de la CFE, organismo que prevé incrementos anuales superiores a 6%, incluyendo los del período 1990-1995.¹³

Conforme a dichos supuestos, la capacidad instalada total pasará de 20 807 MW en 1985 a 28 394 MW en 1990 y a 47 243 MW en el año 2000 (véase el cuadro 3). La participación de la hidroelectricidad disminuirá de 31.4% en 1985 a 25.3% en 1995 y a 27% en el año 2000. La de la termoeléctricidad a base de hidrocarburos bajará de 62.2 a 54 y a 46.6 por ciento, en el mismo orden. Como contrapartida, la de la carboeléctricidad aumentará de 4.4 a 14.2 y a 16.8 por ciento, respectivamente; la de la geotermoelectricidad se elevará de 2 a 3 y a 6.7 por ciento; y la de la nucleoelectricidad pasará de 3.5% en 1990 a 2.8% en el año 2000, debido a que no habrá nuevas plantas de esa fuente energética en dicho lapso, según se supone. Para establecer estas cifras se consideraron los avances actuales de algunos proyectos, las metas de las empresas energéticas en materia de diversificación y las disponibilidades de tecnología.

CUADRO 3

Capacidad instalada en el sector eléctrico nacional, 1985-2000 (Megawatts)

	Hidroeléctrica	%	Termoeléctrica	%	Carboeléctrica	%	Geotermoelectrica	%	Nucleoeléctrica	%	Total
1985	6 532	31.4	12 950	62.2	900	4.4	425	2.0	—	—	20 807
1990	8 054	28.4	16 437	57.9	1 900	6.7	695	2.4	1 308	4.6	28 394
1995	9 454	25.3	20 180	54.0	5 308	14.2	1 121	3.0	1 308	3.5	37 371
2000	12 818	27.1	22 015	46.6	7 937	16.8	3 165	6.7	1 308	2.8	47 243

Tasa media de crecimiento anual

1985-1990	4.3	4.9	16.1	10.3	a	6.4
1990-1995	3.3	4.2	22.8	10.0	—	5.6
1995-2000	6.3	1.8	8.4	23.1	—	4.8
1985-2000	6.3	3.6	15.6	14.3	—	5.6

a. Indeterminado.

Fuentes: 1985, CFE, información histórica; 1990, cifras deducidas de diferentes documentos de planeación de la CFE; 1995, cifras deducidas de diferentes documentos de planeación de la CFE y de la Minera Carbonífera Río Escondido; 2000, cifras deducidas de SEMIP, *Programa Nacional de Energéticos 1984-1988*, México, 1984, con las siguientes salvedades: a) se acepta una elasticidad-ingreso de la demanda de energía eléctrica de 0.9-1.0, en el período 1995-2000, la menor desde los años cincuenta, y para la cual serán cruciales las políticas de ahorro energético; b) se toma el rango más alto de participación de la termoeléctricidad, establecido en el Programa, en la oferta total de electricidad, lo que quiere decir que los objetivos de diversificación de termoeléctricidad por fuentes no convencionales se alcanzarán en su sentido más restringido; c) se supone que hasta el año 2000 no entrarán en operación, aparte de las dos unidades de Laguna Verde, nuevas plantas nucleoelectricas; y d) se refuerza apreciablemente la importancia de las carboeléctricas y, como se indica en el Programa, también la de las geotermoelectricas.

Sin embargo, sus ingresos propios contribuyen cada vez más a cubrir sus egresos.

En la hipótesis de que la demanda de electricidad es autónoma con relación al ingreso y a los precios, pero suponiendo que tendrán algún éxito los programas actuales de ahorro energético emprendidos por la CFE, Pemex y otras entidades y que se extenderán a toda la sociedad, en este trabajo se considera que la oferta de electricidad (capacidad instalada) crecerá a una tasa media anual de 5.6% de 1985 al año 2000, con las siguientes composiciones: 1985-1990, 6.4%; 1990-1995, 5.6%; 1995-2000, 4.8%. Esta última cifra es consecuente con el supuesto del Prone de que a finales del siglo la elasticidad-ingreso de la demanda de electricidad habrá bajado a 0.9-1.0. Empero, las proyecciones correspon-

Las reservas probadas de energía primaria convencional aseguran a México muchísimos años de generación eléctrica, ya que hasta ahora sólo se han explotado de manera marginal. Por ejemplo, el potencial económicamente redituable no utilizado de la hidroelectricidad (sobre todo de microhidroelectricidad) fue hasta 1986 de 84.2%; el de la electricidad basada en el carbón, 85%; el de la geotermia, 96%, y el de nucleoelectricidad, 100%. El potencial de la electricidad a base de hidrocarburos se calcula en 39%, dado que la vida útil de las reservas respectivas disminuye

13. Véanse CFE, *Desarrollo del mercado eléctrico 1982-1996*, México, 1987, y CFE, *Programa de inversiones y obras del sector eléctrico* (Poise), con proyecciones hasta 1995, México, 1985.

CUADRO 4

Capacidad de generación eléctrica comercial por tipo de fuente (Megawatts)

	Hidroelectricidad			Termino- electricidad ¹	Geotermo- electricidad	Carbo- electricidad		Nucleo- electricidad		Total				
	Macro	Micro	Suma			(%)	(%)	(%)	(%)		(%)			
Actual ²	6 411	121	6 532	13 400	645	1 200	21 777							
Máximo alcanzable ³	9 454	32 000	41 454	100.0	22 015	100.0	18 419	100.0	7 417	100.0	97 242	100.0		
Diferencia	3 043	31 879	34 922	84.2	8 615	39.1	17 774	96.5	6 737	84.9	7 417	—	75 465	77.6

1. A base de hidrocarburos.

2. Diciembre de 1986.

3. Se trata de un máximo determinado por las reservas descubiertas y la tecnología disponible. En el caso de la termoelectricidad la cifra es teórica, ya que las reservas de hidrocarburos del país tienen una vida útil muy amplia (más de 50 años al ritmo de explotación actual). El máximo de la microhidroelectricidad, que corresponde al potencial bruto teórico, fue determinado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas hace algunos años. Se supuso que al terminar algunos proyectos de largo plazo actualmente en marcha, o a punto de iniciarse, la macrohidroelectricidad podrá alcanzar su máximo en el año 2000. En cuanto a geotermoelectricidad se parte de la explotación comercial de algunos sitios rentables, particularmente Cerro Prieto y Los Azúfres; por tanto, se omiten algunos sitios en los que no existe seguridad de recuperar la inversión. En carboelectricidad se supone que el máximo alcanzable es el estipulado por el Programa Nacional de Energéticos, 1984-1988 (Prone), aunque en dicho documento se acepta la posibilidad de recurrir a importaciones de carbón no coquizable. El mismo supuesto de máximo alcanzable se hace para la termoelectricidad, dado que para el año 2000 habrá de agudizarse el sentimiento y la necesidad de ahorrar hidrocarburos. Es probable que para entonces la vida útil de dichos recursos se haya reducido a poco más de diez años, tomando en cuenta la tasa actual a que crece su explotación. En cuanto a la nucleoelectricidad, se toma la cifra máxima establecida en el Prone para el año 2000.

y hay límites claros para establecer nuevas plantas termoeléctricas (véase el cuadro 4). Así, de los 13 400 MW de capacidad de las plantas de ese tipo existentes en 1986 se podría subir hasta 22 000 MW, sin poner en excesivo peligro las reservas petroleras; si no se descubren otros yacimientos, alrededor del año 2018 se habrían agotado los conocidos, en el supuesto de que el consumo interno aumente hasta entonces a una tasa media anual de 4.5% y que las exportaciones se mantengan en 1.5 millones de b/d de crudo y 100 000 de productos petrolíferos.

Observaciones finales

Durante el decenio de los noventa será posible consolidar la transición de los hidrocarburos hacia otras fuentes comerciales de energía primaria, sin atentar contra las reservas petroleras del país. Si prosiguen los proyectos de diversificación energética actualmente en marcha y si el programa de inversiones de la CFE no se rezaga debido a factores financieros, es muy factible que la participación de las termoeléctricas operadas a base de hidrocarburos en la capacidad instalada del sector público disminuya a poco menos de 47% hacia finales de este siglo. Entonces, la carboelectricidad habrá ganado una importancia crucial, en línea con lo que se gesta en otros países del orbe: participará con cerca de 17% de la capacidad instalada. La declinante relación gas/aceite de algunos pozos petroleros mucho coadyuvará a ello y obligará a las plantas duales ya concluidas o en proceso a utilizar carbón en vez de gas.

Al concluir el siglo es muy probable que la geotermoelectricidad y la nucleoelectricidad participen juntas con un poco menos de 10%, habida cuenta de que su desarrollo más allá de los proyectos actualmente conocidos es incierto. Algo similar tiende a suceder con la microhidroelectricidad, de modo que la participación de la fuerza hidráulica en el balance energético nacional tenderá a disminuir, ya que se está agotando el margen de manobra en la macrohidroelectricidad.

Mientras tanto, y gracias en gran medida a los trabajos actuales de diversos centros de investigación, sobre todo el IIE, deberá ensancharse el conocimiento respecto a los métodos de explotación comercial de tres fuentes de energía primaria vitales para México: la solar, la eólica y la biomasa. A ellas se agregará la microhidroelectricidad, cuyo problema se circunscribe a lograr que la industria nacional produzca en serie turbinas y equipo de pequeña y mediana potencia. La energía proveniente de las olas marinas, cuyo potencial es enorme gracias a los casi 10 000 km de litorales del país, es otra fuente que acrecentará a más largo plazo las disponibilidades energéticas.

Así pues, se tiende a sustituir primero algunas fuentes no renovables por otras del mismo tipo; en el largo plazo (después del año 2000), a sustituir éstas por fuentes renovables. La transición podrá parecer lenta en la actualidad, pero es irreversible por su necesidad. Con perspectiva histórica, el uso de ciertos energéticos cuyas reservas son limitadas en México, como el uranio y el carbón, será temporal, y una de sus funciones principales consistirá en reforzar el dominio de la transformación de energía primaria en energía secundaria.

A la luz de argumentos estadísticos, de localización geográfica, de seguridad en el suministro, de existencia de reservas probadas, de disponibilidad de recursos financieros y de desarrollo tecnológico, la mejor opción para México, hasta el año 2000, es la diversificación y el equilibrio en el uso de sus fuentes primarias de energía comercial. Esto no es novedoso. Sin embargo, conviene reafirmarlo porque muchos que defendieron esta posición, hace cinco años o más, parecen haber cambiado de opinión y postulan ahora el uso del gas natural o de cualquier otra fuente, con independencia de consideraciones técnicas y económicas. La indecisión en esta materia podría costarle a México muchos años más de retraso en el proceso de diversificación energética y ocasionarle costos económicos y financieros enormes. Asimismo, pondría en entredicho el desarrollo científico y tecnológico nacional y retardaría la consolidación de la nueva fase de industrialización. □