



Miguel S. Wionczek  
Coordinador

---

---

# PROBLEMAS DEL SECTOR ENERGETICO EN MEXICO

---

---

333.972  
W796p  
ej.3

EL COLEGIO DE MEXICO

# Problemas del sector energético en México

**PROGRAMA DE ENERGETICOS**

**Miguel S. Wionczek**

coordinador

Enrique de Alba, Juan F. Bueno Z., Miguel Castañeda, Raúl Gastélum, Oscar Guzmán, Adrián Lajous, Hermilo López Coello, Sergio Mercado, Pablo Mulás, Rogelio Ruiz, Jaime Mario Willars Andrade, Miguel S. Wionczek y Roberto Yza

# Problemas del sector energético en México



**El Colegio de México**

Primera edición, 1983, El Colegio de México

© 1983, EL COLEGIO DE MEXICO,

Camino al Ajusco 20,

Pedregal de Santa Teresa,

México, D.F.

Impreso y hecho en México—*Printed and made in Mexico*

ISBN 968-12-0230-9

## INDICE

INTRODUCCIÓN	9
<i>Miguel S. Wionczek</i>	
PRIMERA PARTE	
ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA FUTURA POLÍTICA PETROLERA DE MÉXICO	13
<i>Miguel S. Wionczek</i>	
PERSPECTIVAS DE LA DEMANDA INTERNA Y POSIBILIDADES DE AHORRO Y SUSTITUCIÓN DE LOS ENERGÉTICOS EN MÉXICO	33
<i>Jaime Mario Willars Andrade</i>	
ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN MÉXICO: UN MODELO DE SIMULACIÓN	61
<i>Enrique de Alba, Hermilo López Coello y Juan F. Bueno Z.</i>	
LA POLÍTICA DE PRECIOS INTERNOS DE PRODUCTOS PETROLEROS EN MÉXICO 1976-1982	95
<i>Raül Gastélum</i>	
SEGUNDA PARTE	
LA EXPLOTACIÓN DEL GAS NATURAL	107
<i>Adrián Lajous</i>	
EXPERIENCIAS DE LA PLANTA NUCLEAR DE LAGUNA VERDE	131
<i>Rogelio Ruiz</i>	
EL CARBÓN EN MÉXICO	155
<i>Miguel Castañeda y Roberto Yza</i>	
NUEVAS FUENTES ENERGÉTICAS	171
<i>Oscar Guzmán</i>	
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN APOYO DE LA GEOTERMIA	229
<i>Pablo Mulás y Sergio Mercado</i>	



## LISTA DE AUTORES

- Enrique de ALBA. Profesor del Departamento de Matemáticas ITAM.
- Juan Fco. BUENO. Coordinador Ejecutivo Subsecretaría de Desarrollo Regional, SPP.
- Miguel CASTAÑEDA. Auxiliar Técnico de la Subdirección de Construcción de la CFE.
- Raúl GASTÉLUM. Subdirector de Energía y Desarrollo Nacional de la Dirección Política Energética de la SEMIP, anteriormente Investigador del Programa de Energéticos de El Colegio de México.
- Oscar GUZMÁN. Investigador del Programa de Energéticos de El Colegio de México.
- Adrián LAJOUS. Coordinador de Comercio Internacional de PEMEX, anteriormente Director General de la Dirección General de Energía SEPAFIN.
- Hermilo LÓPEZ COELLO. Asesor Económico de la Dirección General de Banca Cremi.
- Sergio MERCADO. Jefe del Departamento de Geotermia del Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Pablo MULÁS. Director de la División de Fuentes de Energía, Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Rogelio RUIZ. Investigador del Programa de Energéticos de El Colegio de México.
- Jaime Mario WILLARS ANDRADE. Gerente de Economía Energética de PEMEX, anteriormente Director de Política Industrial de SEPAFIN.
- Miguel S. WIONCZEK. Director del Programa de Energéticos de El Colegio de México.
- Roberto YZA. Auxiliar Técnico de la Subdirección de Construcción de la CFE.



## INTRODUCCIÓN

En medio del caos y la incertidumbre prevaecientes en los mercados internacionales del petróleo, acompañados por la profunda crisis económica que está padeciendo México, el Programa de Energéticos de El Colegio de México ha dirigido su atención recientemente a los problemas económicos y tecnológicos que surgen de la obvia necesidad de readaptar la política energética nacional a las condiciones que han quitado la validez a la tesis, de boga hace apenas un par de años, en el sentido de que el petróleo es y será el pivote del desarrollo socioeconómico del país.

Los nueve ensayos contenidos en este volumen han sido elaborados durante el año de 1982 por investigadores del Programa de Energéticos o presentados en las reuniones auspiciadas por este Programa por especialistas gubernamentales o académicos que cooperan en las actividades de El Colegio de México desde afuera.

El libro consta de dos partes. La primera, iniciada con una suerte de reflexiones acerca de la problemática general de la política energética que se está gestando, elaborada por el Coordinador del Programa, contiene además tres trabajos —algunos de ellos bastante técnicos— que profundizan el análisis de la demanda de energía para el uso interno en el futuro próximo a la luz del uso desorganizado e ineficaz de las fuentes energéticas —principalmente hidrocarburos y electricidad— a fines de los setenta y principios de los ochenta.

El mérito de esta sección, que incluye trabajos elaborados por expertos energéticos del sector público, es la abundancia de la nueva información cuantitativa que no ha sido manejada públicamente para fines analíticos hasta hace poco tiempo. Este conjunto de ensayos comprueba lo que los preocupados por los rumbos de la política energética mexicana en fechas recientes sabían intuitivamente: México está aprovechando sus fuentes energéticas tradicionales —petróleo y electricidad— con un grado de desperdicio muy

impresionante. En medio de la crisis económica y financiera actual que enfrenta el país, la continuación de tal derroche solamente agudizaría la crisis general. Más aún, el desperdicio de los energéticos convencionales parece ser, por lo menos en la teoría, controlable siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones: se programen sus usos futuros, se coordinen las empresas energéticas estatales, se fijen precios realistas de los distintos energéticos y, finalmente, se establezcan y apliquen instrumentos conducentes a la sustitución de energéticos entre sí y a su conservación y ahorro en general.

La segunda parte del volumen contiene cinco trabajos que se ocupan del presente y del futuro de los energéticos que en el caso de México cabe clasificar como los energéticos no convencionales: gas natural, energía nuclear, recursos carboníferos y, finalmente, nuevas fuentes energéticas, incluyendo la solar y la geotérmica.

La visión que ofrecen estas contribuciones es que mientras el uso del gas natural en el mercado interno ha sido bastante exitoso, la excursión en el campo de la energía nuclear tuvo resultados desastrosos por la desorganización institucional y el subdesarrollo tecnológico nacional patente. En vista de que hasta 1981 el petróleo "iba a resolver todo", el progreso y el uso de otros recursos tales como carbón, energía solar y geotermia sigue incipiente. Sin embargo, un lector de estos cinco ensayos finales llegará también a la conclusión de que México es un país bien dotado en toda clase de recursos energéticos. Lo que falta no son los recursos físicos sino el desarrollo de una organización social adecuada, una planeación energética coherente y una capacidad tecnológica interna suficiente.

*Miguel S. Wionczek*  
Programa de Energéticos  
Abril de 1983

## Primera parte



## ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA FUTURA POLÍTICA PETROLERA DE MÉXICO

Miguel S. Wionczek

En un ensayo reciente sobre los aspectos principales de la planeación energética en las economías industrializadas de mercado, en las economías socialistas y en las en desarrollo (con amplias referencias a las experiencias mexicanas de los últimos 40 años) aventuré esta opinión: ni la planeación de la política energética ni la instrumentación de tal política son, como lo creen muchos expertos en la materia, ejercicios puramente técnicos.<sup>1</sup> Por el contrario, en todos los países, independientemente de sus sistemas económico-políticos y de su grado de desarrollo, y sobre todo en las economías mixtas, se trata de ejercicios de política y economía que se derivan de los procesos de negociación entre los múltiples actores del escenario energético nacional y a veces internacional.<sup>2</sup>

Entre estos actores destacan el Estado y sus planificadores, las empresas productoras de energéticos (sean privadas o públicas, según el caso), los distintos grupos de interés que conforman el conjunto de los consumidores, y otros importantes grupos como los trabajadores sindicalizados del sector. Consecuentemente, la planeación energética no es un proceso lineal, ni la política energética consiste en fijar sólo las metas cuantitativas a mediano plazo de la participación de las distintas fuentes energéticas en la oferta total, de la producción de energéticos, de su transformación, de su consumo intermedio y de su consumo final. Tampoco es suficiente traducir las metas en los proyectos. La planeación, considerada seriamente, involucra, entre otros factores, la incorporación a la planeación física de la planeación financiera y la tecnológica, el establecimiento de los instrumentos de política que permitan alcanzar los objetivos fijados y el compromiso de los ejecutores del programa energético de seguir los lineamientos de política con flexibilidad adecuada para eliminar los cuellos de botella imprevistos de origen interno y externo.

<sup>1</sup> Miguel S. Wionczek, "Mexico's Energy Policy-The Past and the Future", en *The Journal of Energy and Development*, Boulder, Col., vol. VII, núm. 2, Spring 1982.

<sup>2</sup> Lo confirma un libro reciente sobre las experiencias europeas. Véase Gordon T. Goodman, Lars A. Kristoferson y Jack M. Hollander, *The European Transition from Oil*, Academic Press, Nueva York, 1981.

Estos cuellos de botella pueden, en el caso de que no se atiendan a tiempo, impedir el cumplimiento ordenado del programa energético no sólo en los casos en que la economía de que se trate dependa sustancialmente del exterior en cuanto a fuentes de energía, bienes de capital y tecnología, sino también en los que se dependa de la exportación de los recursos energéticos. En ambas situaciones, la planeación tendrá poco éxito si sus autores no disponen de información detallada y de buena calidad acerca de las relaciones interindustriales en el sector energético y entre éste y el resto de la economía y a la vez de datos y proyecciones relativamente fidedignas sobre las condiciones y las perspectivas de la economía mundial y del mercado energético internacional.

Una vez definida la planeación energética y su puesta en práctica como un proceso de negociación de naturaleza política y económica entre los múltiples actores presentes en el escenario energético nacional (y en el caso de México después del redescubrimiento del petróleo entre 1974 y 1976, en el marco de las condiciones cambiantes del mercado energético mundial), cabe insistir en que las mismas reglas de juego se aplican a las políticas energéticas sectoriales, la petrolera, eléctrica y otras. El proceso de la planeación y la instrumentación de tales políticas sectoriales se complica obviamente por la necesidad de coordinación institucional, cosa que pocos países han logrado hasta la fecha de manera razonablemente satisfactoria. Este ensayo se constreñirá sólo a la evolución de la política petrolera de México de 1938 a principios de los ochenta. Ya que la historia es una parte del presente y del futuro, no existe un método más adecuado para plantear los problemas a los que seguramente se enfrentará el país en el campo petrolero durante el decenio en curso. Las raíces de los problemas futuros están en las experiencias vividas y las soluciones implantadas en el pasado relativamente reciente.

Las experiencias dramáticas de la nacionalización petrolera de 1938, el bloqueo subsecuente del petróleo mexicano en los mercados extranjeros, la convicción ampliamente compartida de que la riqueza energética del país era muy escasa, y las exigencias de la estrategia de industrialización mediante la sustitución de importaciones, definieron la política energética mexicana, centrada en los hidrocarburos, durante los casi 40 años posteriores a la expropiación (1938-1976). A partir de 1938, los hidrocarburos mexicanos habrían de ser desarrollados por mexicanos y exclusivamente para México, con base en tres prioridades: 1) el suministro de los energéticos procedentes de los hidrocarburos para las industrias manufactureras, el transporte y la demás infraestructura física a precios subsidiados; 2) la creación de capacidad tecnológica autónoma y la ampliación de los conocimientos operativos en el sector petrolero, y 3) la mejora del bienestar de los trabajadores petroleros, deprimido por más de 30 años, durante el control de los campos petroleros y las refinerías por las empresas extranjeras.

El primero de estos objetivos no ha sido fácil de cumplir en un país en que la demanda de hidrocarburos creció en el periodo posterior a la expropiación en un promedio de 10% al año. Reconstruir la industria petrolera nacionalizada exigía, en las primeras etapas, un sinnúmero de decisiones difíciles y a la vez conflictivas entre sí en lo que se refería a la distribución de los escasos recursos financieros entre la exploración, la extracción del crudo, la construcción de refinerías, la expansión de las redes de distribución y, después de 1960, el establecimiento de la industria petroquímica primaria.

La aplicación de las políticas petroleras definidas inmediatamente después de la nacionalización de 1938 procedió sin mayores dificultades sólo por algún tiempo. El primer estudio detallado de las experiencias y perspectivas del desarrollo económico de México, elaborado en 1952 por un grupo de trabajo conjunto del Banco Mundial y del Gobierno mexicano, ofrece un cuadro de la expansión de Petróleos Mexicanos en la década de los cuarenta, lograda sin ayuda externa alguna.<sup>3</sup> En la producción total, tanto de crudo como de productos refinados, la empresa excedió en 1950 el nivel del año de la nacionalización (1938) en más de 80%. No sólo se satisfizo la demanda del mercado interno, que seguía creciendo 9.1% al año, sino que la industria petrolera pudo exportar en los años cuarenta en términos netos 24 millones de barriles de crudo para financiar las importaciones de bienes de capital y pagar también una parte considerable de la deuda negociada con las compañías petroleras extranjeras por causa de la nacionalización.

El punto más débil de la reconstrucción de la industria petrolera mexicana después de la nacionalización consistió en la restricción impuesta a su programa de exploración, debido sobre todo, según el estudio citado, a los precios internos excesivamente bajos de los derivados del petróleo. "En términos generales, sin embargo —según el estudio—, los problemas petroleros a que se enfrenta la economía mexicana no son ni sin soluciones ni tampoco particularmente difíciles. Lo que es necesario es transferir a la inversión pública en el sector petrolero las inversiones hechas en los sectores de más baja prioridad."<sup>4</sup> Al resaltar la entrada de la Comisión Federal de Electricidad en los proyectos hidroeléctricos todavía de propiedad extranjera que demandaban cantidades crecientes de carbón y petróleo para la generación de electricidad, el informe ofreció un pronóstico bastante optimista del sector energético de México para los decenios siguientes, a pesar de que se esperaba que la demanda total de energía creciera aún más rápidamente.

<sup>3</sup> Raúl Ortiz Mena, Víctor L. Urquidi, Albert Waterston y Jonas H. Harals, *El desarrollo económico de México y su capacidad para absorber el capital del exterior*, Nacional Financiera, México, 1953.

<sup>4</sup> *Ibid.*, pp. 197-198.

En un estudio posterior de las perspectivas a mediano plazo del desarrollo económico de México, elaborado en 1957 por la CEPAL, se ofrecía una apreciación de las posibilidades del sector energético mexicano hasta 1965, de manera no menos optimista.<sup>5</sup> En lo referente a la industria petrolera, la CEPAL puso énfasis en el crecimiento muy dinámico de la demanda de petróleo y productos refinados en respuesta a la continua expansión del transporte automotor, las grandes inversiones en carreteras y plantas termoeléctricas, y en la industria en general. Las proyecciones de la demanda global de hidrocarburos para 1955 y 1965 indicaban tasas anuales de crecimiento mayores de 9%, de orden parecido a las registradas en el periodo inmediatamente posterior a la nacionalización petrolera. Se consideraba factible lograr estos objetivos en vista de la magnitud probable de las reservas de hidrocarburos en México. Las muy modestas actividades de exploración de Petróleos Mexicanos de 1938 a 1955 aumentaron las reservas probadas durante este periodo en tres veces, de 835 millones a 2 800 millones de barriles. Las pruebas circunstanciales indicaban que las reservas potenciales eran mucho mayores.

En el estudio de la CEPAL de 1957 se extendieron las especulaciones sobre las reservas probables y potenciales mucho más lejos que en cualquier fuente anterior y en muchas posteriores. "De acuerdo con algunas fuentes extranjeras —se hizo notar en el informe— México cuenta con zonas sedimentarias cuya extensión total es comparable con la de Texas y es posible que el país cuente con recursos petroleros de magnitud similar a la de otros países latinoamericanos, incluyendo Venezuela. Más aún, parece posible que la existencia de la plataforma continental a lo largo del Golfo de México cuente con recursos de hidrocarburos bastante grandes. Vale la pena mencionar que solamente en el Medio Oriente, Venezuela y México se han perforado en los años más recientes pozos que producen 3 mil barriles al día."<sup>6</sup> La CEPAL hizo notar también que las disponibilidades de gas natural estaban creciendo muy dinámicamente y que más y más gas natural se traía a la superficie junto con petróleo crudo para ser quemado. Mientras que en 1950 el crudo constituía 84% de las reservas en México, su participación bajó en 1955 a 61%, frente a 39% del gas natural.

La apreciación optimista de la CEPAL resultaba en una conclusión bastante heterodoxa: en sentido contrario a las creencias tradicionales acerca del tamaño limitado de los recursos petroleros de México, el problema no se originaba en la escasez de recursos físicos, sino en las restricciones tecnológicas y financieras, agravadas muy seriamente por la política de precios internos del petróleo. Las decisiones de política operativa de Pemex en los cincuenta se improvisaban sólo en el momento en que aparecían

<sup>5</sup> CEPAL, *El desequilibrio externo en el desarrollo económico latinoamericano: el caso de México*, 2 vols., 1957 (mimeo).

<sup>6</sup> *Ibid.*, vol. 2, pp. 317-318.

escaseces agudas en exploración, producción, transformación y distribución, respectivamente, y se tomaban sin una visión macroeconómica adecuada. Por otro lado, frente a un crecimiento muy lento de los ahorros internos de la industria petrolera, debido tanto a los niveles de los precios como al aumento incontrolable de los costos, la competencia por los fondos de inversión procedentes del presupuesto federal se volvía cada vez más aguda. Sin embargo, por razones políticas, hasta 1956 el Gobierno federal continuó negándose a ajustar los precios de los combustibles de acuerdo con las necesidades crecientes de los gastos operativos y de inversión de Pemex.

En estas circunstancias, la empresa no tuvo alicientes ni posibilidades para elaborar un programa de exploración a largo plazo, a pesar de que la disponibilidad de energía continuaba considerándose como el pilar de la industrialización. Por el contrario, la política petrolera siguió los cauces de una secuencia de decisiones improvisadas y de limitado alcance, dirigidas a solucionar los constantes y ubicuos problemas de la industria a corto plazo.

A pesar de la revisión de precios de 1956, los gastos en actividades de exploración se sacrificaron una vez más durante los sesenta en favor de las inversiones en distribución y transformación del crudo, como respuesta al dramático aumento de la demanda de combustible, estimulada por la política anterior de precios bajos. Según algunas fuentes conocedoras de la industria petrolera, la lentitud de las actividades de exploración en los decenios de los cincuenta y los sesenta también obedeció a factores tecnológicos: el país no logró construir con bastante anticipación la capacidad de elaborar y absorber internamente la información procedente de las etapas iniciales de exploración. El procesamiento de esta información fuera del país no ha sido ni rápido ni confiable. Además, la abundancia y excesiva baratura del crudo en los mercados internacionales no creaba ningún ambiente de emergencia. En tales condiciones, aun el aumento considerable de la inversión federal destinada a Pemex en los sesenta, apoyada en un creciente endeudamiento externo (una vez que el sector petrolero mexicano recuperó su respetabilidad como prestatario internacional) no permitió cerrar la brecha, constantemente creciente, entre la demanda interna y la oferta interna de hidrocarburos. En consecuencia, a fines del mismo decenio México presenció una aguda crisis de la oferta petrolera interna y en 1971-1972 se convirtió en un importador petrolero neto, por primera vez en su historia.

Afortunadamente, la escasez interna del crudo, acompañada por el rápido crecimiento de las importaciones, tanto de crudo como de productos petroleros, surgió antes del primer "choque petrolero internacional" de 1973-1974. Si México no hubiera respondido en 1970 al impacto de su crisis petrolera interna mediante la ampliación de los recursos financieros y tecnológicos para buscar más petróleo en su territorio, el crecimiento

económico del país hubiera sido paralizado por los aumentos internacionales de los precios de los hidrocarburos ya en el año de 1974. Si hubiera ocurrido esto, es bastante probable que la crisis política y financiera de 1976 se habría traducido en un verdadero desastre nacional. Sin embargo, en vísperas de esa crisis, México no sólo logró volver a la autosuficiencia energética, sino que tuvo la capacidad de iniciar la exportación de crudo en cantidades crecientes desde el primer año de la nueva administración, en 1977. Una gran parte de los nuevos campos petroleros terrestres se descubrió inicialmente de 1972 a 1974. Lo que aún no se sabía entonces plenamente era la magnitud total de las reservas probadas.

Es menester tener presente que el descubrimiento de la gigantesca riqueza petrolera mexicana, a mediados de los setenta, sorprendió en cierta forma por su enorme cuantía. El objetivo original de la búsqueda del "nuevo" petróleo era encontrar más crudo para el consumo interno ya que su escasez a principios de ese decenio había puesto en grave peligro el desarrollo industrial nacional. En ningún momento se les ocurrió a los responsables de la política petrolera de 1970 a 1975 que México podía volverse, otra vez, como ocurrió en 1900-1930, un país petrolero orientado a la exportación, como Venezuela. Las primeras estimaciones oficiales de las reservas probadas y probables eran modestas e inciertas, contrariando la evidencia preliminar recogida por las empresas petroleras extranjeras en los años veinte y las especulaciones procedentes de fuentes externas tales como el *U.S. Geological Survey*. Empero, no cabe olvidar que la entrada de México en la escena petrolera internacional, de 1977 en adelante, durante el gobierno de López Portillo, fue posible debido a la prioridad muy alta que asignó a la inversión en el sector petrolero en el sexenio anterior su antecesor, Luis Echeverría. En México cada Presidente tiene un estilo particular de gobierno y un conjunto también particular de objetivos. Al parecer, los objetivos de Echeverría fueron resolver los problemas de la escasez del crudo en el mercado interno, construir una gran industria petroquímica y guardar el petróleo sobrante para usos internos futuros. Al llegar la crisis económica y financiera de 1975-1976, el nuevo régimen sustituyó en parte estos objetivos por otros tales como el uso del petróleo para salir más rápidamente de esta crisis.

El paso rápido de la escasez a la superabundancia dio lugar, con el cambio de gobierno, al súbito afloramiento de ideas sobre la posibilidad de hacer de los hidrocarburos el pilar del futuro desarrollo económico del país, tanto en el sentido físico como en el financiero. Las expectativas eran muy optimistas: la riqueza petrolera iba a ofrecer al Estado mexicano la capacidad casi mágica de solucionar rápidamente los ancestrales problemas económicos y sociales, así como la capacidad financiera, prácticamente ilimitada, procedente de la expansión petrolera, que haría posible eliminar los problemas estructurales más difíciles (la baja productividad agrícola, la

mala distribución de los ingresos y la dependencia externa). Las exportaciones petroleras permitirían, al mismo tiempo, un crecimiento sostenido y acelerado de la economía en su conjunto (a una tasa anual cercana a 10%) mediante la inversión ampliada en los sectores clave de la economía, la disminución del endeudamiento externo y la mejoría considerable del bienestar de la sociedad. En estos tiempos surgió la idea, abandonada bastante rápidamente, de que habría tantas divisas procedentes de las exportaciones petroleras, que sería factible establecer un gran "Fondo de Inversiones" alimentado con las divisas petroleras.

Detrás de estos sueños de grandeza financiera es posible encontrar la visión, compartida por casi todos los expertos energéticos del mundo a finales de los setenta, de que la economía energética mundial pasaba por una revolución mayor e irreversible. El fortalecimiento del "cártel" de la OPEP, la magnitud limitada de las reservas mundiales de petróleo y gas natural y el crecimiento sostenido de la demanda de combustibles en todo el planeta parecían garantizar a todos los países productores la expansión constante de las exportaciones de hidrocarburos a precios en aumento permanente. Sin embargo, aun los muy entusiastas proponentes de la idea de que México tenía en sus manos todos los elementos que le permitirían hacer del petróleo el pivote del desarrollo, empezaron a percatarse de las limitaciones internas de tal posición. El hecho de que México era ya un país semi-industrializado ofrecía tanto ventajas como desventajas al inesperado auge petrolero. Las ventajas de orden económico y financiero se compensaban con las desventajas políticas provenientes de la ubicación geopolítica del país. El concepto de un país asentado sobre un mar de petróleo exportable, un "país petrolero", fue sustituido en el discurso político interno por el de un "país con petróleo".

La formación de la política petrolera mexicana en la segunda mitad de los setenta fue un ejercicio político particularmente complicado. Pasará mucho tiempo antes de que se conozca la historia detallada de este episodio, tanto en México como en otras partes. Lo que se puede decir a estas alturas es que prácticamente todos los actores políticos de la escena mexicana y hay muchos más de los que los observadores externos de México suponen han sido involucrados directa o indirectamente en el proceso de decisión sobre la política petrolera. Más aún, el proceso mismo ha sido mucho más agitado de lo que puede colegirse de los documentos oficiales y los escasos y parciales informes de la prensa nacional.

Dicho ejercicio fue agitado, ya que involucraba no sólo problemas ideológicos y de otra índole, sino a muchos grupos de interés en conflicto. Además, muy rápidamente se descubrió que el petróleo no sólo fue una "bendición relativa", sino que sus grandes disponibilidades fueron "una bendición todavía más relativa", al hacerse descubrimientos de tal magnitud casi en la puerta del mayor país consumidor de petróleo importado del

mundo, país cuyo sector energético está completamente dominado por poderosos intereses privados.

Durante los años anteriores a la fijación, en la primavera de 1980, de las cuotas y plataformas globales para la exportación de crudo y gas natural (válidas sólo hasta diciembre de 1982, en que termina la administración de López Portillo) y a la formulación de lineamientos tendientes a asegurar la diversificación de las exportaciones de hidrocarburos durante el mismo periodo, prosiguió un largo, complicado e intenso debate nacional acerca de los beneficios y los costos del auge petrolero. Este debate excedió en mucho el tema económico del papel del petróleo en el comercio exterior y la balanza de pagos de México y cubrió todo el campo de las interrelaciones del auge petrolero y el futuro de la sociedad y la economía mexicanas. Los escépticos subrayaron los costos económicos y sociales de lo que se percibía como una petrolización clara del país. La escuela de pensamiento opuesta insistía en los beneficios que recibiría una nación semi-industrializada que disponía de grandes reservas de hidrocarburos, continuamente crecientes. La división entre los escépticos y los entusiastas cruzaba las líneas políticas tradicionales: ambas escuelas tienen sus seguidores en el gobierno, en los sectores público y privado y en las élites intelectuales. Las listas de los costos y los beneficios sociales y económicos, reales o supuestos, de la riqueza petrolera resultaron bastante impresionantes.

Los escépticos resumieron los probables aspectos negativos de la presencia creciente del petróleo en la economía mexicana de la siguiente manera:

- 1) Aumento de la dependencia económica general del país del mercado estadounidense.
- 2) Cambios negativos en la composición de las exportaciones, en favor del petróleo.
- 3) Contribución importante del sector petrolero a las presiones inflacionarias internas, a pesar de los precios internos todavía bastante bajos de los hidrocarburos.
- 4) Desaceleración de la modernización y eficiencia de la industria manufacturera que, en una economía sobrecalentada, vendía en el mercado interno toda su producción, ya fuese de alta o de baja calidad, ya fuese necesaria o irrelevante desde el punto de vista del desarrollo.
- 5) Efectos negativos muy serios del sector petrolero sobre la balanza de pagos, debido a tres factores: *a*) creciente demanda de importaciones de la industria petrolera, como reflejo del subdesarrollo industrial interno; *b*) incremento de la demanda de bienes de consumo suntuario que surgía, a su vez, del deterioro en la distribución del ingreso debido parcialmente a los patrones de desarrollo de una economía petrolizada, y *c*) creciente demanda de créditos externos que correspondía, entre otros, al manejo interno poco eficaz de la industria petrolera.
- 6) Relajamiento general en la disciplina del gasto público, semejante

al ocurrido en otros países en desarrollo mayores, que también producen y exportan hidrocarburos.

7) Efecto negativo de la industria petrolera sobre las diferencias ya grandes en los niveles regionales del desarrollo nacional.

8) Consecuencias ecológicas serias de las nuevas actividades petroleras a lo largo del Golfo de México y en el sureste mexicano.

La lista opuesta de los esperados beneficios del petróleo cubría los siguientes aspectos:

1) Contribución de los descubrimientos petroleros a mediados de los setenta a la solución de la crisis económica y social generalizada de los dos últimos años de la administración de Echeverría.

2) Seguridad de una amplia oferta interna de hidrocarburos a largo plazo.

3) Creciente contribución del sector petrolero al producto nacional bruto.

4) Posibilidad de un ajuste gradual de la economía a los cambios mundiales abruptos de los niveles de precios de los energéticos.

5) Considerable expansión del ingreso fiscal en todos los niveles, por cuenta de la producción y exportación de hidrocarburos.

6) Efecto multiplicador sobre la demanda de bienes de capital y manufacturas intermedias producidas en el país.

7) Consecuencias positivas de la industria petrolera en el desarrollo de las regiones atrasadas del sureste.

8) Fortalecimiento de la capacidad de negociación comercial de México frente a los países industriales.

El debate entre los escépticos y los entusiastas tomó nueva fuerza al aparecer, en noviembre de 1980, el Programa Nacional de Energía que contenía un análisis de la demanda y la oferta de energéticos primarios mayores en el periodo de la posguerra, los objetivos de la producción de hidrocarburos hasta 1990 y las proyecciones de todas las fuentes energéticas hasta el año 2000.<sup>7</sup>

El Programa de Energía fijó como sus objetivos principales:

a) satisfacer las necesidades nacionales de energía primaria y secundaria;

b) racionalizar la producción y los usos de la energía;

c) integrar el sector energético en el desarrollo del resto de la economía;

d) conocer en detalle los recursos energéticos del país, y

e) fortalecer la infraestructura científica y tecnológica que permita desarrollar el potencial energético del país y aplicar nuevas tecnologías energéticas.

<sup>7</sup> Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, *Programa de Energía. Metas a 1990 y proyecciones al año 2000* (Resumen y conclusiones), México, noviembre de 1980.

Lo novedoso del Programa de Energía de 1980 consistió en que fue el primer intento de integrar, en un conjunto relativamente coherente de lineamientos de política a largo plazo, todas las políticas energéticas parciales (petrolera, hidroeléctrica, de carbón y otras), que con anterioridad llevaban una vida independiente. Las debilidades del Programa fueron múltiples. Primero, su punto de partida era la visión de la economía energética mundial prevaleciente en el momento del "segundo choque petrolero" de 1979-1980; segundo, el Programa fue un subproducto de dos ejercicios de planeación inmediatamente anteriores, el Plan Global de Desarrollo y el Plan Nacional de Desarrollo Industrial, concebidos y elaborados durante el auge petrolero de fines de los setenta, planes que suponían una tasa sostenida de crecimiento de la economía mexicana de 8% al año; tercero, al defender las plataformas de producción de hidrocarburos ya fijadas para fines de exportación, el Programa no analizó con el detenimiento necesario las relaciones entre el sector petrolero y el resto de la economía; cuarto, contenía supuestos particularmente optimistas respecto a la racionalización del consumo y el ahorro de energía en los ochenta; quinto, dedicaba atención casi marginal a la instrumentación de sus propuestas, y sexto, apareció como un documento de una sola Secretaría de Estado —la de Patrimonio y Fomento Industrial— sin referencia alguna a la participación de las dos grandes empresas energéticas paraestatales —Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad—, a las cuales correspondería instrumentar una gran parte de las medidas de política energética previstas por el Programa.<sup>8</sup> Desde los inicios de la administración de López Portillo, e independientemente de los debates acerca de los peligros y beneficios de la petrolización de la economía mexicana, las actividades petroleras recibieron la más alta prioridad en la política económica del país. La participación del sector en la inversión pública aumentó de un promedio anual de 17.5% en el sexenio anterior (1971-1976) a casi 35% en 1977-1981; su participación en la producción industrial de 5% en 1976 a más de 21% en 1981; la producción de crudo y líquidos de gas natural de 1 085 000 barriles al día en 1977 a 2 554 000 en 1981; la producción bruta de gas natural (incluyendo el quemado) de 2 046 millones de pies cúbicos diarios en 1977 a 4 060 en 1981; la capacidad de refinación de crudo de 308 mbd en 1977 a 1 270 mbd en 1981 y las exportaciones de petróleo sin transformar de 202 mbd en 1977 a 1 100 mbd en 1981. Esta expansión de todos los sectores de la industria se vio acompañada por el crecimiento constante de las reservas probadas de los hidrocarburos (crudo, líquidos de gas y gas natural) de 11 200 millones de barriles a fines de 1976 a 72 000 millones a fines de 1981.

<sup>8</sup> Un análisis crítico del Programa de Energía se encuentra en Gerardo M. Bueno, "Petróleo y planes de desarrollo en México", en *Comercio Exterior*, vol. 31, núm. 8, México, agosto de 1981, pp. 831-840.

Durante todo el periodo del auge petrolero (1977-1980) no hubo cambio alguno de los precios internos de hidrocarburos transformados, a pesar de la aceleración del proceso inflacionario y la creciente sobrevaluación del peso. Un aumento muy considerable vino apenas en diciembre de 1981, en vísperas de la devaluación del peso. Los tres incrementos anteriores tuvieron lugar en diciembre de 1973, octubre de 1974 y diciembre de 1976, respectivamente, consistiendo el segundo en la fijación de un impuesto federal de 50% a los precios de la gasolina al consumidor, y el tercero en un ajuste posdevaluatorio. Consecuentemente, los precios relativos de los productos petroleros de consumo interno eran más bajos en 1980 que en 1970.<sup>9</sup> En tales circunstancias, igual que en los sesenta, la inversión de Pemex tuvo que cubrirse con sus ganancias netas, con transferencias de recursos financieros públicos (menores que los ingresos fiscales aportados por la industria petrolera) y con empréstitos externos. Mientras la demanda y los precios seguían en ascenso en el mercado petrolero mundial y los ingresos petroleros del país crecían de 1 100 millones de dólares en 1977 a 14 600 millones en 1981, este patrón de financiamiento de la industria petrolera mexicana no parecía crear mayores problemas. Los ingresos petroleros netos se dirigían al resto de la economía y la creciente deuda externa de Pemex, que a mediados de 1981 llegó a representar aproximadamente 30% de la deuda total del sector público, iba a pagarse con sus ingresos en divisas futuras, supuestamente siempre crecientes.

Sólo algunos observadores del escenario petrolero mexicano —tanto extranjeros como nacionales— disentían en cuanto a la euforia expansionista general que acompañaba al auge petrolero de 1977-1981. Así, a mediados de 1980, un estudioso de la economía mexicana advertía que los primeros signos del “síndrome del petróleo”, sufridos por los países de la OPEP a lo largo de los setenta, se podían detectar en México ya en 1978 y 1979. Entre los síntomas directos principales de tal síndrome se podían notar: *a*) los crecientes superávits en cuenta corriente de carácter pasajero, *b*) el crecimiento caótico y desequilibrado del sector petrolero, con la consecuente aparición de graves cuellos de botella, y *c*) la inflación acelerada generada por una demanda y una liquidez excesivas, frente a una oferta deficiente. Para controlar estos síntomas se necesitaba urgentemente, según la misma fuente: *a*) diversificar la economía mediante un gran esfuerzo del Estado con el fin de ampliar y modernizar la infraestructura, lo que involucraba importaciones, conocimientos y tecnología extranjeros; *b*) abrir la economía para intentar eliminar algunos de los cuellos de botella y las consecuentes presiones inflacionarias, y *c*) formular y aplicar una amplia política de subsidios y transferencias (o reducciones de impuestos) con fines

<sup>9</sup> E. Barriga Guzmán, “Relative Oil Prices and Oil Pricing Policy in México”, agosto de 1981 (mimeo).

redistributivos y para proteger a la población contra los efectos inflacionarios. Este autor vaticinó, en fin, que “en definitiva, el petróleo producirá en México los síntomas comunes. . . que se observan en otros países ricos en petróleo”.<sup>10</sup>

Otro observador del panorama económico y energético del país hacía notar unos meses más tarde —en noviembre de 1980— que:

“En respuesta al alto y sostenido crecimiento del sector petrolero en los últimos años, la economía mexicana ha empezado a sufrir algunos cambios estructurales que muestran una tendencia parecida a la observada en otros países productores de petróleo:

”a) participación creciente del sector petrolero en la generación del PIB;

”b) cambios en los precios relativos y reorientación de los factores de producción y de los escasos recursos internos hacia las actividades ligadas con el petróleo y los sectores que producen bienes que no pueden entrar en el comercio internacional (principalmente servicios y construcción);

”c) aparición de cuellos de botella en sectores clave de la economía, en particular transporte y capacidad industrial;

”d) rápido crecimiento de las importaciones, aunado a falta de dinamismo de las exportaciones no petroleras;

”e) altas tasas de inflación, y

”f) tendencia a la sobrevaluación de la moneda.”<sup>11</sup>

De mediados de 1980 a mediados de 1981, el síndrome petrolero se adueñó de México por completo. Entre otros factores, ello se debió al gasto público desmesurado, tendiente a sostener las tasas de crecimiento económico mayores del mundo en el ámbito de una recesión mundial cada vez más aguda; a la pérdida completa de control de gasto de inversión pública y privada; al crecimiento considerable de la cuenta de las importaciones necesarias para resolver de inmediato los cuellos de botella en la infraestructura y el aparato productivo y suplir, a la vez, la demanda tanto de alimentos básicos como de bienes de consumo suntuario (importaciones para cuyo pago no bastaban los crecientes ingresos petroleros en divisas), y a la defensa a ultranza de la paridad del peso. Vistas desde la perspectiva de 1982, el año en que la tasa de crecimiento económico del país bajó casi a cero, con estas políticas se cumplieron todas las predicciones acerca de los costos de la petrolización progresiva de México y apenas pocas sobre sus beneficios. El “síndrome petrolero” hubiera durado en el país tal vez algún

<sup>10</sup> Abel Beltrán del Río. “El síndrome del petróleo mexicano. Primeros síntomas, medidas preventivas y pronósticos”, en *Comercio Exterior*, vol. 30, núm. 6, México, junio de 1980, pp. 556-569.

<sup>11</sup> Jaime Corredor, *Oil in Mexico. Summary of Relevant Information and Some Comparisons with Other Oil Producing Countries*, noviembre de 1980 (mimeo), pp. 26-27.

tiempo más (quizá hasta fin de sexenio) si a mediados de 1981 no se hubiese presentado con toda fuerza un cambio básico en el panorama energético mundial, cuya aparición no fue tan inesperada como se pensaba en los países con muy poca experiencia en asuntos petroleros internacionales, entre ellos México. Ya desde 1980, los observadores cuidadosos del escenario mundial veían tendencias claras hacia la disminución de la demanda del crudo en todos los países industrializados de Occidente, en función de la crisis económica y del ahorro de energéticos, la sustitución creciente del petróleo por el gas natural y otras fuentes energéticas primarias, así como el estancamiento del consumo de hidrocarburos en las regiones subdesarrolladas (con excepción del Medio Oriente). Todos estos acontecimientos estuvieron acompañados por el constante crecimiento de la oferta de hidrocarburos y de otros energéticos, en escala mundial.<sup>12</sup>

Los acontecimientos de los últimos doce meses, que llevaron al país de tasas de crecimiento de 8% anual al crecimiento cero y que se tradujeron en medidas de austeridad más severas que las implantadas en 1976, conforme al convenio con el Fondo Monetario Internacional, están demasiado cercanos para que puedan analizarse con la amplitud necesaria en este breve ensayo. Además, el trabajo se circunscribe a la problemática petrolera del país y su posible futuro, después del fracaso del "proyecto nacional" que trataba de hacer del petróleo el pivote de desarrollo económico y social a largo plazo.

Para mal o para bien, e independientemente de si se considera a México como un "país petrolero" o un "país con petróleo", la magnitud de sus recursos de hidrocarburos es tal que seguirá siendo un actor significativo en el escenario energético internacional. Sin embargo, el campo de maniobra petrolera externa del país, en las condiciones depresivas del mercado internacional, se enfrenta a una serie de restricciones: cualquier intento mexicano de aumentar su participación en el mercado externo afectará en los próximos años las condiciones de este mercado y, a su vez, el comportamiento del mercado mundial afectará las posibilidades y limitaciones de la presencia petrolera nacional en el exterior. Esta regla de sentido común seguirá siendo válida mientras no ocurra una de dos cosas: a) que termine la crisis económica mundial presente y empiece una fuerte y sostenida recuperación de las economías industriales, o b) que surja un nuevo "choque petrolero" en alguna parte del mundo. Las posibilidades de ambos acontecimientos en un futuro cercano parecen bastante remotas.

A quienes piensan que en virtud de la cuantía de sus recursos petrole-

<sup>12</sup> Los factores que han llevado a un cambio radical en la configuración del mercado internacional de los hidrocarburos y de los energéticos en general a principios de los ochenta han sido analizados por Miguel S. Wionczek y Marcela Serrano en "Las perspectivas del mercado mundial de petróleo en los ochenta", en *Comercio Exterior*, vol. 31, núm. 11, México, noviembre de 1981, pp. 1256-1267.

ros México podría convertirse en un proveedor mundial de hidrocarburos del orden de Arabia Saudita, podría recordárseles que, en contra de las apariencias, Arabia Saudita tampoco está en condiciones de seguir una política petrolera completamente autónoma. La evidencia convincente la proporciona el hecho de que ese país está perdiendo constantemente su poder dentro de la OPEP, a pesar de haber reducido sus exportaciones de crudo en menos de dos años de 10 000 mbd a unos 6 000 mbd.

La situación actual del mercado energético mundial plantea a los planificadores mexicanos varias cuestiones de orden político y técnico referentes a los objetivos e instrumentos de nuestra política petrolera futura. Entre ellas, las ocho siguientes tal vez son de importancia particular:

1) En las condiciones actuales del mercado internacional, ¿tiene alguna función fijar topes a las exportaciones de crudo?

2) Si no fuera así, ¿qué rango de tasas de crecimiento flexibles de las exportaciones de crudo y productos transformados debería fijar México como punto de referencia para los próximos años, en función de la capacidad de producción actual y potencial de la industria petrolera? Además, estas tasas no deben desestabilizar el mercado internacional ni conducir a un crecimiento ya imposible del endeudamiento externo del sector petrolero nacional.

3) ¿Qué tasas de crecimiento factible de las exportaciones deberían fijarse para la industria petroquímica, entre otras, ya que es tiempo de reconocer que ésta pasa en escala mundial por una crisis mucho más seria que el comercio internacional de crudo?

4) ¿Qué tipo de relaciones petroleras a más largo plazo debería establecer México con los principales países importadores para no convertirse, por omisión, en el proveedor estratégico de crudo de Estados Unidos, bajo el supuesto de que la diversificación de su comercio de hidrocarburos representa un objetivo de seguridad nacional para México?

5) ¿Qué tipo de relaciones convendría establecer con la OPEP, en vista de que a ningún productor y exportador de la magnitud de México le puede convenir la destrucción de esta organización, buscada por algunos gobiernos e intereses petroleros internacionales?

6) ¿Qué tipo de medidas será menester tomar para mejorar la coordinación entre Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad, en vista de que el uso del crudo y del gas natural para generar electricidad continuará creciendo, particularmente después de la suspensión indefinida del programa nucleoelectrico a causa de la situación financiera adversa que prevalece en el país?

7) ¿Qué medidas habrá que tomar para conservar y ahorrar energía en un país en que la demanda energética crece con suma rapidez y no parece verse afectada por el aumento de sus precios, al tiempo que tampoco funcionan otros incentivos tendientes a fomentar las innovaciones tecnológicas que ahorran energía?

8) ¿Cómo aumentar la productividad del sector generador de energía y de su personal, en vista del poder político de los sindicatos petroleros y eléctricos?

Un tema particularmente difícil parece ser el de las relaciones con la OPEP. En primer lugar, ésta nunca recibió en México la atención que merecía. En segundo, cuando se planteaba el problema, éste tomaba la forma de una pregunta simple y superficial: ¿debe México adherirse a esta organización o no? En las condiciones del mercado internacional de hidrocarburos, actuales y proyectadas a mediano plazo, no se trata tanto del ingreso de México en la OPEP, como de los contactos con ella y con otros países exportadores independientes. Tales relaciones permitirían, si fuera necesario, discutir, y tal vez concentrar en todos estos países en conjunto, acuerdos sobre precios y volúmenes de producción, para que el mercado funcione de manera tan ordenada como funcionaba en los tiempos en que lo controlaban las grandes empresas transnacionales, con anterioridad al primer "choque petrolero" de 1973-1974.

Obviamente, no es factible ver una solución satisfactoria de estos problemas sólo en términos técnico-comerciales, a pesar del peso de estas consideraciones a corto plazo en un país que sufre una aguda crisis económica y financiera. Se trata de un ejercicio político-económico con horizonte mucho más amplio, ejercicio que podría llevarse a buen término solamente si se ordenan los aspectos externos e internos de la industria energética nacional, cuyo crecimiento particularmente rápido (aunque caótico y descoordinado, sin la consideración debida de la productividad, los costos, los precios internos y los cambios en la estructura de la demanda interna) ha contribuido mucho a la actual crisis económica generalizada del país. Para tal ejercicio son absolutamente indispensables datos y proyecciones de la mejor calidad posible sobre las condiciones y perspectivas de la economía mundial y, por supuesto, una capacidad analítica y política al respecto.

No todos los costos de la petrolización de la economía mexicana (enumerados a lo largo de este ensayo) han sido objeto de un análisis satisfactorio durante el presente año político, aun cuando no queda lugar a dudas acerca del fin del auge petrolero de 1977-1981. Los temas tratados con cierta profundidad en las reuniones del IEPES,<sup>13</sup> entre otros, son principalmente: 1) el aumento de la dependencia económica general con respecto al mercado estadounidense; 2) la desaceleración de la modernización y eficiencia de la industria manufacturera, en una economía sobrecaentada por el auge petrolero; 3) los efectos de la política de precios internos en el

<sup>13</sup> Véanse los cuadernos de la Reunión Popular para la Planeación de los Energéticos y el Desarrollo Nacional, Instituto de Estudios Políticos, Económicos y Sociales (IEPES), México, mayo de 1982 y la *Memoria de la reunión final* del mismo ciclo, Querétaro, mayo 29 de 1982.

financiamiento de la industria energética y, particularmente, en la petrolera; 4) las consecuencias de las actividades de la industria petrolera en las grandes diferencias de niveles de desarrollo regional, y 5) las consecuencias ecológicas del auge petrolero en el Golfo de México y en el sureste.

Sin embargo, con una u otra excepción, se omitieron otros aspectos importantes del gran paquete de los costos económicos y sociales del ya difunto auge petrolero: 6) la contribución considerable del sector petrolero al proceso inflacionario; 7) las consecuencias económico-técnicas de la explotación acelerada mar adentro; 8) el fracaso de los intentos por conservar y ahorrar energía, y 9) la falta de coordinación entre Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad.

Cada uno de los nueve puntos enumerados merecería una investigación por separado si se contara con la información cuantitativa y cualitativa adecuada y si la forma del discurso político-técnico en México fuera distinto. Sin embargo, siendo las cosas como son, es factible ofrecer apenas algunas hipótesis de trabajo sobre las raíces de cada uno de estos problemas. Así, el aumento general de la dependencia económica del país con respecto al mercado estadounidense se debe no sólo al destino prioritario del crudo mexicano (Estados Unidos), sino al papel preponderante del vecino septentrional como fuente de las importaciones de bienes de capital (incluyendo la tecnología energética), de alimentos y de bienes de consumo suntuario, así como a la presencia masiva de las transnacionales manufactureras estadounidenses en México. El auge petrolero de 1977-1982 sólo fortaleció la integración económica silenciosa entre los dos países, que se inició en los cuarenta. Esta integración silenciosa se vio ayudada por la crisis económica internacional, cuyos primeros indicios datan de antes del auge petrolero mexicano.

El poco éxito de la modernización de la industria manufacturera mexicana en los setenta refleja su subdesarrollo tecnológico y empresarial, su aversión a los riesgos en un clima de protección desmedida y su acceso al sistema de subsidios públicos, de generosidad desconocida en otras partes del mundo. Uno de los problemas que no se han aclarado suficientemente hasta la fecha, por ejemplo, es por qué a quince años de descubrir el Estado mexicano la necesidad de establecer una industria de bienes de capital, tal industria no existe ni en el sector público ni en el privado.

Los efectos de la política de precios internos de los hidrocarburos en el financiamiento de la industria energética y en el crecimiento del endeudamiento externo del país han sido aclarados en detalle, aunque de manera muy incompleta. Aparentemente nadie está dispuesto a analizar el problema de los costos crecientes del sector energético, por tratarse, sin duda, sólo en parte de un problema económico (en lo referente al efecto de la inflación mundial en el costo de las importaciones de este sector y a su relación de precios de intercambio con el mundo externo) y en gran parte de su

conjunto de problemas políticos internos sumamente delicados, entre ellos, por ejemplo, los costos de las obras contratadas en el país, los ingresos reales de la mano de obra sindicalizada, etc.

El tema de la contribución del auge petrolero al aumento de la brecha entre los niveles ya muy desiguales del desarrollo regional y a la destrucción ecológica de las nuevas zonas petroleras (fenómenos nada privativos del caso mexicano), ha sido aclarado mejor que otros. Los daños sociales y ecológicos fueron resultado de la prioridad máxima otorgada a los programas y proyectos de nuevas inversiones concedidas exclusivamente con criterios técnicos por las empresas energéticas públicas, criterios divorciados de las condiciones económico-sociales que caracterizan las regiones subdesarrolladas donde se encontró el nuevo petróleo o se construyeron grandes plantas hidroeléctricas.

El problema de la contribución del sector petrolero al proceso inflacionario general, tratado hasta ahora *sotto voce*, no puede verse divorciado de la estrategia de Pemex de 1977 a 1981, del ritmo de sus actividades de exploración, explotación, refinación y distribución y de la aparición de cuellos de botella en y entre las distintas actividades. El surgimiento de estos cuellos se volvió inevitable debido a que el ritmo conjunto de todas las actividades ha sido tal vez excesivo desde el punto de vista de infraestructura general y la disponibilidad de equipo en las nuevas regiones petroleras (Tabasco-Chiapas y la Sonda de Campeche). El mismo fenómeno se dio en otras fechas en Irán, Arabia Saudita y Nigeria, entre otros países. Los cuellos de botella se hicieron notar en forma severa en el transporte terrestre, las instalaciones de almacenamiento y los puertos y el transporte de cabotaje y de alta mar. A estos estrangulamientos se sumaron otros originados en la escasa disponibilidad de equipo de exploración y explotación, tanto terrestre como marino, particularmente al abrirse a la explotación intensiva en 1979 la plataforma continental de Campeche, donde la producción de crudo aumentó veinte veces en apenas dos años (de 52 000 barriles al día en 1979 a 1 082 000 barriles diarios en 1981). La solución de todos estos cuellos de botella ha sido emprendida mediante una serie de programas de emergencia, sin tener en cuenta los costos de los insumos físicos y tecnológicos que era necesario importar. La "batalla contra el tiempo", emprendida en las nuevas zonas petroleras, ha sido muy costosa, aunque la magnitud de los costos sigue siendo desconocida. Tuvo que afectar forzosamente a la postre la capacidad de inversión en otras actividades de la empresa.

Las consecuencias económico-técnicas de la explotación marina acelerada, iniciada a mediados de 1979, se sintieron solamente después de un cambio drástico en las condiciones del mercado energético mundial, dos años más tarde. Están directamente relacionadas con varios hechos: el crudo de la Sonda de Campeche es semipesado y, por tanto, es un crudo

de exportación, mientras que el sistema de refinación nacional ha sido construido para transformar el crudo ligero procedente de los campos en tierra; el mercado nacional consume hasta la fecha casi en su totalidad los productos procedentes del crudo ligero, aunque, durante el auge, avanzó mucho la sustitución de los productos petroleros por el gas natural, tanto en Pemex mismo, como para fines industriales y usos domésticos. Consecuentemente, frente a la tendencia ininterrumpida del aumento del consumo de energéticos en el país, éste se enfrenta en la actualidad a dos problemas interconectados: la declinación de los ingresos procedentes de las exportaciones del crudo semipesado (55% de las exportaciones petroleras totales) y la creciente insuficiencia de la capacidad de refinación para el mercado interno en condiciones de escasez de recursos de inversión de Pemex.

El más intratable, quizá, es el problema de la conservación y ahorro energético en el país. En un ambiente en que tanto la electricidad como el petróleo son "nuestros", la experiencia reciente demuestra con amplitud que la elasticidad-precio de los energéticos se acerca a cero y tampoco funcionan los incentivos para la innovación tecnológica tendiente a conservar los energéticos. El aumento de casi 100% de los precios de gasolinas y diesel al público, introducido como una medida de emergencia en diciembre de 1981, después de más de un año de negociaciones en el seno del Gobierno federal, no ha afectado en lo más mínimo el consumo de estos combustibles, confirmando solamente las expectativas inflacionarias de los consumidores. Lo mismo ocurre con el consumo industrial y doméstico del gas natural, el combustóleo y el gas licuado, cuyos precios aumentan automáticamente 2.5% mensual (o cerca de 40% al año). Las medidas del aumento de los precios de los combustibles no sólo se han visto sobrepasadas en los últimos diez años por el proceso inflacionario, sino que no toman en cuenta que los usuarios principales de los hidrocarburos son las dos grandes empresas energéticas públicas mismas, cuyos costos contables se desconocen en lo que respecta a estos insumos. A manera de ejemplo, cabe mencionar que Pemex consumía en 1981 casi la mitad del gas natural producido y distribuido internamente por la misma empresa (excluyendo el que se quema en los pozos) y cerca de la mitad de la energía eléctrica generada provenía de hidrocarburos en el mismo año. Sin duda, en México la conservación y el ahorro de los energéticos, sobre todo después de la euforia del auge petrolero de 1977-1982, no es simplemente un problema económico y tecnológico. Tiene sus raíces en otras facetas del comportamiento de la sociedad mexicana, cuyo estudio pertenece a sociólogos y antropólogos.

Finalmente, la coordinación estrecha entre Pemex y la CFE es un asunto de extrema urgencia y seriedad, en virtud de la clara tendencia histórica del aumento del petróleo y del gas natural como fuente de generación de energía en el país. Al suspenderse el plan nucleoelectrico indefinidamente en

1982, no cabe duda que la dependencia de la CFE con respecto a los hidrocarburos seguirá creciendo en los ochenta, a pesar de la contribución de algunos proyectos hidroeléctricos y del uso de carbón para generar energía eléctrica. El problema de la coordinación de las dos empresas energéticas públicas gigantes es, sin embargo, un problema político de primer orden. En el sistema político mexicano sólo el Presidente de la República puede instrumentar la verdadera cooperación entre los entes, cuyos intereses institucionales, burocráticos y económicos no coinciden todo el tiempo, como suele suponerse.

El comportamiento de la economía global, las tendencias depresivas del mercado energético mundial y las dificultades internas del país indican como poco probable la diversificación de las fuentes energéticas en México en fecha próxima. Si bien es factible prever que aumente el uso de gas natural, carbón y energía hidroeléctrica durante los ochenta, el petróleo crudo seguirá siendo la principal fuente energética primaria. El ritmo de la transición del petróleo hacia otras fuentes no convencionales, que avanzó considerablemente en los países muy industrializados de Occidente entre 1973-1981, parece haberse frenado en últimas fechas por la abundancia de petróleo y gas natural y por la escasez de recursos financieros para impulsar otras fuentes energéticas. No sería extraño en absoluto que el mismo fenómeno se diera también en México.

Empero, tal situación no autorizaría, en manera alguna, que los planificadores de la política petrolera (y energética) nacional no consideraran con toda seriedad tres problemas centrales de la política futura: primero, el nivel de los precios internos de los productos petroleros; segundo, la magnitud del derroche de los energéticos, que caracterizó los cuatro años del auge petrolero del país, y tercero, las limitaciones impuestas a las exportaciones de crudo por las condiciones poco estables de su demanda mundial.



## PERSPECTIVAS DE LA DEMANDA INTERNA, Y POSIBILIDADES DE AHORRO Y SUSTITUCIÓN DE LOS ENERGÉTICOS EN MÉXICO

*Jaime Mario Willars Andrade*

### **Comportamiento de la demanda interna de energía**

El proceso de desarrollo económico de México se ha caracterizado por un alto consumo de energía por unidad de producto generado y, al igual que en otros países, se hace un uso ineficiente de los energéticos. Este índice es comparable, y en muchos casos supera, al correspondiente a países altamente industrializados que se localizan en climas más fríos. El consumo de energía por unidad de producto interno bruto en el país es mayor al que se observa en países como Italia, Alemania, Japón y Francia.

El incremento en la intensidad del uso de la energía se explica por el cambio cualitativo observado en la estructura productiva del país y el deterioro relativo de los precios internos de los combustibles. En relación al primero de ellos, en los últimos veinte años se desarrollaron industrias básicas altamente consumidoras de energía; además, se observó un incremento considerable de los transportes por carretera, particulares y colectivos, que influyó en un mayor consumo de combustibles. Por otra parte, la disminución en términos reales de los precios de los energéticos, fomentó parcialmente la selección y uso de tecnologías más intensivas que otras en energía dentro de las industrias más dinámicas. En este contexto, cabe resaltar que los precios del gas natural, del combustóleo y de la electricidad disminuyeron en cerca de 50 por ciento, entre 1960 y 1980, con relación a otros bienes y servicios.

La evolución de la producción nacional, el consumo total y el consumo final de energía durante la última década se presentan en el cuadro 1. Como puede observarse, el crecimiento promedio de la producción nacional fue de 12.5 por ciento, tasa que refleja la creciente importancia de la exportación de hidrocarburos. Por su parte el consumo total y final crecieron en 8.7 y 8.4 por ciento respectivamente. El consumo de energía en México se caracteriza por su alta dependencia en los hidrocarburos como fuente primaria, ya que la participación de los hidrocarburos en el consumo total aumentó entre 1970 y 1980 de 86.4 a 92.7 por ciento. (Véase el cuadro 2.)

Cuadro 1

México: Producción nacional, consumo total y consumo final de energía, 1970 y 1975-80  
(Kcal x 10<sup>12</sup>)

	Producción nacional (1)	Consumo total (2)	Consumo final (3)	Relaciones porcentuales		
				2/1 (4)	3/1 (5)	2/3 (6)
1970	475 668	453 115	268 155	95.2	56.4	169.0
1975	678 712	642 114	392 821	94.6	57.9	163.5
1976	730 828	691 389	429 408	94.6	58.8	161.0
1977	830 963	727 631	444 048	87.6	53.4	163.9
1978	1 008 755	833 393	495 985	82.6	49.2	168.1
1979	1 203 339	920 462	544 627	76.5	45.3	169.0
1980	1 547 859	1 040 656	598 370	67.2	38.7	173.9
Tasas medias de crecimiento anual (%)						
1970-80	12.5	8.7	8.4			
1970-75	7.4	7.2	7.9			
1975-80	17.9	10.1	8.8			

Fuente: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Secretariado Técnico de la Comisión de Energéticos, *Energéticos, boletín informativo del sector energético*, noviembre, 1981.

Durante el último decenio, el consumo nacional de energía ha aumentado sustancialmente. En términos *per cápita*, éste se eleva (expresado en Kcal  $\times 10^6$ ), de 9.4 en 1970, a 15.4 en 1980, lo que supone una tasa media de crecimiento anual de 5.1 por ciento durante el periodo. También es notable el incremento en el consumo de energía cuando se considera su coeficiente en términos de unidad producto. En efecto, sobre una base quinquenal, la tasa media de crecimiento del consumo total de energía por unidad de producto ha crecido de 0.6 por ciento (1970-1975) a 3.3 por ciento (1975-1980). En términos del consumo final, este crecimiento ha sido menos pronunciado: 1.3 por ciento (1970-1975), y 2.0 por ciento (1975-1980). (Véase el cuadro 3.)

Esta expansión en el consumo se comprenderá mejor si se hace referencia a los valores de la elasticidad-producto del consumo de energía, tanto total como desglosado en términos del consumo final y del consumo total de energía. Estos dos valores se descomponen, a su vez, según se trate del consumo de hidrocarburos o de electricidad. Destaca el hecho de que en el último quinquenio, estas elasticidades muestran un comportamiento bastante irregular, ya que sus magnitudes mínimas y máximas llegan a diferir casi en un cien por ciento durante el periodo. Las elevadas elasticidades de 1976 obedecen al hecho de que, en ese año el crecimiento del producto fue señaladamente débil sin que el consumo energético disminuyese paralelamente. En los años siguientes, la recuperación del ritmo de actividad económica ocasiona una presión hacia la baja sobre la magnitud de la elasticidad. No obstante, los movimientos dispares del crecimiento en el producto frente a los del consumo de energía, hacen difícil la percepción de cuál es la tendencia de la elasticidad-producto del consumo de energía. En cualquier caso, el orden de magnitud de este indicador refleja un alto consumo energético de la economía mexicana durante la década de los setenta. (Véase el cuadro 4.)

En México, la estructura del consumo de energía no ha manifestado cambios sustanciales durante los últimos diez años. Además, aquella está caracterizada por dos rasgos dominantes: en primer lugar, la preponderancia de los hidrocarburos, cuya participación en el consumo final fue de 88.8 por ciento en 1970, y de 89.1 por ciento en 1980; en segundo lugar, la constancia en la composición sectorial del consumo de energía y, más específicamente, la participación mayoritaria de la industria y del transporte. Durante la década pasada, estos dos sectores han representado alrededor de las dos terceras partes del consumo final de energía. (Véanse los cuadros 5 y 6.)

## México: Consumo total y final de energía

## C o n s u m o t o t a l

	Total*	Estructura porcentual	Hidro-carbuos	Estructura porcentual	Electricidad	Estructura porcentual
1970	453.115	100.0	391.347	86.4	22.546	5.0
1975	642.114	100.0	571.692	89.0	35.483	5.5
1976	691.389	100.0	619.784	89.6	38.624	5.6
1977	727.631	100.0	648.706	89.2	42.138	5.8
1978	833.393	100.0	760.139	91.2	45.606	5.5
1979	920.462	100.0	841.972	91.5	49.992	5.4
1980	1 040.656	100.0	965.140	92.7	53.972	5.2

\* Incluye combustibles sólidos.

Fuente: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Secretariado Técnico de la Comisión de

por fuente, 1970 y 1975-80 (Kcal x 10<sup>12</sup>)

C o n s u m o f i n a l

Total*	Estructura porcentual	Hidro-carburos	Estructura porcentual	Electricidad	Estructura porcentual
268.155	100.0	238.046	88.8	18.614	6.9
392.821	100.0	348.479	88.7	29.712	7.6
429.408	100.0	381.597	88.9	32.584	7.6
444.048	100.0	389.368	87.7	35.396	8.0
495.895	100.0	436.350	88.0	38.769	7.8
544.627	100.0	481.363	88.4	42.309	7.8
598.370	100.0	532.772	89.0	44.979	7.5

Energéticos, *Energéticos*, boletín informativo del sector energético, noviembre, 1981.

Cuadro 3

México: Consumo de energía por habitantes y por unidad de producto interno bruto, 1970 y 1975-80

	Consumo total de energía per cápita			Consumo total de energía por unidad de producto			Consumo final de energía por unidad de producto		
	Kcal x 10 <sup>6</sup>			Kcal por			Kcal por		
	peso corriente	dólar corriente	peso de 1970	peso corriente	dólar corriente	peso de 1970	peso corriente	dólar corriente	peso de 1970
1970	9.4	12 739	1 020	1 020	12 739	1 020	604	7 539	604
1975	11.3	7 291	584	1 053	7 291	1 053	357	4 460	644
1976	11.7	7 789	504	1 087	7 789	1 087	313	4 837	675
1977	11.9	8 884	394	1 106	8 884	1 106	240	5 422	675
1978	13.2	8 083	355	1 172	8 083	1 172	211	4 809	697
1979	14.1	6 928	304	1 185	6 928	1 185	180	4 099	701
1980	15.4	5 762	251	1 237	5 762	1 237	144	3 313	711
Tasas medias de crecimiento anual (%)									
1970-80	5.1			2.0					1.7
1970-75	3.7			0.6					1.3
1975-80	6.5			3.3					2.0

Fuente: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Secretariado Técnico de la Comisión de Energéticos, *Energéticos, boletín informativo del sector energético*, noviembre, 1981.

## Cuadro 4

## México: Elasticidad - Producto del consumo de energía

	Del consumo total			Del consumo final		
	Total	Hidrocarburos	Electricidad	Total	Hidrocarburos	Electricidad
1970-80	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4
1970-75	1.1	1.2	1.4	1.2	1.2	1.5
1975-80	1.5	1.7	1.4	1.4	1.4	1.3
1976	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3
1977	1.5	1.4	2.7	1.0	0.6	2.5
1978	1.8	2.1	1.0	1.4	1.5	1.2
1979	1.1	1.2	1.0	1.1	1.1	1.0
1980	1.6	1.8	1.0	1.2	1.3	0.8

Fuente: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Secretariado Técnico de la Comisión de Energéticos, *Energéticos, boletín informativo del sector energético*, noviembre, 1981.

Cuadro 5

México: Estructura del consumo final de energía  
por sector de destino y por fuente,  
1970, 1975 y 1980 (en por cientos)

	1970	1975	1980
Consumo final			
Industria	38.0	36.4	33.1
Transporte	37.3	37.2	39.4
Comercial y residencial	17.9	18.8	18.2
Usos no energéticos	6.8	7.6	9.3
Combustibles sólidos			
Industria	100.0	100.0	100.0
Productos petrolíferos			
Industria	17.7	20.9	16.4
Transporte	55.6	52.4	56.3
Comercial y residencial	19.1	19.3	19.0
Usos no energéticos	7.6	7.4	8.3
Gas			
Industria	86.3	81.2	77.2
Comercial y residencial	5.7	5.8	4.3
Usos no energéticos	8.0	13.0	18.5
Electricidad			
Industria	43.4	44.4	45.5
Transporte	1.0	1.0	0.8
Comercial y residencial	55.6	54.6	53.7

Fuente: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Secretariado Técnico de la Comisión de Energéticos, *Energéticos, boletín informativo del sector energético*, noviembre, 1981.

Cuadro 6

México: Estructura del consumo final de energía  
por fuente y por sector de destino final,  
1970, 1975 y 1980 (en por cientos)

	1970	1975	1980
<b>Consumo final</b>			
Combustibles sólidos	4.3	3.7	3.4
Productos petrolíferos	67.0	70.8	69.9
Gas	21.8	17.9	19.2
Electricidad	6.9	7.6	7.5
<b>Industria</b>			
Combustibles sólidos	11.3	10.2	10.4
Productos petrolíferos	31.2	40.7	34.6
Gas	49.5	39.9	44.7
Electricidad	8.0	9.2	10.3
<b>Transporte</b>			
Productos petrolíferos	99.8	99.8	99.8
Electricidad	0.2	0.2	0.2
<b>Comercial y residencial</b>			
Productos petrolíferos	71.5	72.6	73.2
Gas	7.0	5.4	4.6
Electricidad	21.5	22.0	22.2
<b>Usos no energéticos</b>			
Productos petrolíferos	74.4	69.3	62.0
Gas	25.6	30.7	38.0

Fuente: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Secretariado Técnico de la Comisión de Energéticos, *Energéticos, boletín informativo del sector energético*, noviembre, 1981.

### Posibilidades de ahorro y sustitución por sectores consumidores

México es un país que tiene grandes reservas de hidrocarburos; sin embargo, no se hace un uso correcto de esta riqueza que algún día se agotará, lo cual

hace necesario buscar medidas tendientes al ahorro y a usar eficientemente los mismos.

### *Possibilidades de ahorro en el sector energético*

Las posibilidades de ahorro tienen mayor importancia en aquellas industrias de uso intensivo de energía; de estas industrias, Pemex, empresa paraestatal que se dedica a la explotación de los recursos petrolíferos del país, ocupa un lugar preponderante que requiere tratamiento especial.

De acuerdo a estudios de la propia empresa, su consumo de productos petrolíferos en las diferentes áreas de trabajo durante 1970 ascendió a 68 MBPD, lo cual representó en ese año el 11 por ciento del consumo nacional. En 1980 el volumen de productos consumidos fue de 218.4 MBPD habiendo representado el 16 por ciento del consumo nacional. Este aumento en el consumo significó un incremento del 12.4 por ciento anual durante el periodo 1970-1980.

### *Potencial de ahorro de hidrocarburos en Pemex*

Una estimación detallada del potencial de ahorro energético factible de lograrse en Petróleos Mexicanos, implicaría contar con información precisa de los consumos de energía en cada uno de los diferentes centros de trabajo en las áreas de explotación, refinación y petroquímica, la cual no está disponible. Sin embargo, con base en estudios parciales es posible efectuar un análisis general de este potencial para la empresa.

Una proyección del consumo de productos petrolíferos utilizados como combustibles dentro de la empresa para los años 1981-1990 se presenta en el cuadro 7. Como puede observarse se espera que el consumo de productos se incremente de 254.6 MBPD en el año 1981 hasta 502.6 MBPD en 1990. En este último año la participación al consumo total, se estima, estará constituida de la siguiente manera:

Combustóleo y gas natural	83.2 por ciento
Gasolinas	5.2 por ciento
Diesel	6.1 por ciento
Gas licuado	3.2 por ciento
Kerosinas	1.6 por ciento
Gasavión y turbosinas	0.7 por ciento
<b>Total</b>	<b>100.0 por ciento</b>

Cuadro 7

Demanda por producto en Petróleos Mexicanos  
(BDP)

Año	Combustibles industriales	Gasolinas	Diesel	Gas licuado	Kerosinas	Gasavión y turbosinas	Total
1981	208 785	14 375	16 113	8 986	4 516	1 848	254 623
1982	228 362	15 179	17 611	9 456	4 858	2 058	277 524
1983	259 344	16 047	19 074	9 972	5 205	2 254	311 896
1984	289 834	17 154	20 670	10 645	5 606	2 457	346 366
1985	340 466	18 409	22 308	11 417	6 036	2 654	401 290
1986	359 450	19 777	23 978	12 264	6 486	2 849	424 804
1987	381 280	21 411	25 795	13 287	6 997	3 047	451 817
1988	401 048	22 708	27 305	14 094	7 413	3 219	475 787
1989	413 397	24 284	28 971	15 085	7 893	3 394	493 024
1990	418 747	25 636	30 448	15 932	8 312	3 555	502 630

Del total de productos consumidos en ese año, las gasolinas y el diesel serán utilizados en su mayor parte en el área de transportes terrestres, el gasavión y las turbosinas en el transporte aéreo y el resto de productos en las áreas de producción industrial y de explotación.

De acuerdo con lo anterior, el volumen de productos que se espera sean utilizados en las áreas de explotación y producción industrial en el año 1990 sería de 442.8 MBPD, en el área de transportes terrestres de 56.3 MBPD y en la de transportes aéreos de 3.5 MBPD.

Por su magnitud, el potencial de ahorro de energía más importante es el correspondiente al de las áreas industriales y de explotación.

Se considera que de acuerdo a las experiencias de algunos países se tienen tres etapas bien definidas dentro de la aplicación de medidas de uso eficiente de energía, a saber:

Etapa de conservación	Aplicación	Potencial de ahorro
I. Mantenimiento correctivo	Corto plazo	3-7 por ciento
II. Adquisición de equipo y materiales	Mediano plazo	5-10 por ciento
III. Modificación de procesos	Largo plazo	Ahorros totales del 20 por ciento en adelante

Corto plazo — hasta un año.

Mediano plazo — entre 1 y 2 años en adelante.

Largo plazo — 5 años en adelante.

Para el caso particular de Petróleos Mexicanos, un estimado del potencial de ahorro a obtener sería:

Etapa I	Corto plazo — 5 por ciento
Etapa II	Mediano plazo — 5 por ciento adicional
Etapa III	Largo plazo — 20 por ciento total

En el cuadro 8 se presenta una estimación del potencial de ahorros a lograr. Como puede observarse al año 1990, estos pueden ser del orden de 88.5 MBPD, lo que representa el 20 por ciento del consumo de combustibles proyectados para las áreas de producción industrial y explotación.

En el área de transporte de Petróleos Mexicanos, la aplicación de diferentes medidas de uso eficiente de energía ofrece un potencial atractivo, aun-

Cuadro 8

Ahorro de hidrocarburos en las áreas de producción industrial y explotación de Pemex  
(BDP)

Año	Proyección de la demanda	Ahorros etapa I (5% a 2 años)	Ahorros etapa II (5% a 4 años)	Ahorros etapa III 10%	Ahorros totales	Demanda corregida
1981	222.3	-	-	-	-	222.3
1982	242.7	4.9	-	-	4.9	237.8
1983	274.5	13.7	-	-	13.7	260.8
1984	306.1	15.3	6.1	-	21.4	284.7
1985	357.9	17.9	17.9	-	35.8	322.1
1986	378.2	18.9	18.9	7.6	45.4	332.8
1987	401.6	20.1	20.1	16.1	56.3	345.3
1988	422.6	21.1	21.1	25.4	67.6	355.0
1989	436.4	21.8	21.8	34.9	78.5	357.9
1990	443.0	22.1	22.1	44.3	88.5	354.5

que no es de la magnitud de la que se obtendría en el área industrial. Así, el incrementar el uso de sistemas de transporte de productos más eficientes como son el ferrocarril y el barco ofrece ahorros entre un 20 y un 50 por ciento. La mayor sustitución de la gasolina por el diesel en los vehículos de la empresa ofrece ahorros del 25 por ciento en el volumen sustituido: igualmente, mediante el uso de menores vehículos se pueden lograr resultados de consideración. La estimación de potencial de ahorro se presenta en el cuadro 9. Como puede observarse, en 1990 es posible ahorrar cerca de 10 MBPD.

El potencial de ahorro de energía conjunto de las áreas de producción y transportes para el año 1990 es de 98.3 MBPD, o sea el 19.6 por ciento de la demanda proyectada para ese año. (Véase el cuadro 10.)

### *Posibilidades de ahorro en el sector transportes*

#### Consumo de gasolina por automóviles particulares

Como resultado de los fuertes incrementos que ha tenido el consumo de gasolina en los últimos 20 años, el Gobierno federal a través de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial publicó en diciembre de 1981, el Decreto que establece rendimientos mínimos de combustible para automóviles, en el que fijan las bases a que se habrán de sujetar los fabricantes de automóviles y de otros vehículos automotores para que en los siguientes 10 años utilicen las más avanzadas tecnologías para producir automóviles con elevados rendimientos de combustible.

Como consecuencia de la nueva reglamentación que sobre consumo de combustible se ha implantado en México, los promedios de rendimiento de combustible en los automóviles se espera se incrementen de 5.71 km/l a 6.65 km/l, como se muestra a continuación:

#### Variación del rendimiento nacional (km/l)

Años	Rendimiento nacional (vehículos en circulación)	Promedio nacional (vehículos nuevos)
1960	3.9	—
1965	4.2	—
1970	4.8	—
1975	5.26	—
1980	5.71	9.9
1985	6.32	10.87
1990	6.65	12.2

Este cuadro comparativo entre el rendimiento global de los automóviles en circulación y el rendimiento de los automóviles nuevos demuestra gran diferencia entre ambos valores y es de suponerse que la incorporación de los nuevos a la circulación, permitirá un sustancial ahorro de combustible en comparación con el que podría esperarse de no establecerse controles.

Esto es, para que el rendimiento nacional de los vehículos en circulación alcance cuando menos el 80 por ciento de los rendimientos globales promedio de los automóviles nuevos, y siguiendo una proyección histórica, tendrían que transcurrir entre 25 y 30 años (8 por ciento de incremento cada 5 años). Mientras que apoyados en esta nueva legislación, para 1990 podrían alcanzarse rendimientos promedio de los automóviles en circulación, del orden de 9.5 a 10.0 km/l.

De acuerdo a los estudios realizados el impacto, desde el punto de vista conservador, en el consumo nacional de combustible del sector automóviles, será del orden del 10 por ciento en 1985, del 13 por ciento en 1990 y del 17 al 18 por ciento en la siguiente década.

Esto representa en 1985 un ahorro de más de 1 600 millones de litros anuales o 4.5 millones diarios de gasolina y de 7.2 millones de litros diarios en 1990, pudiendo llegar a superar los 11 millones de litros a principios de la siguiente década.

### *Posibilidades de ahorro en el sector industrial*

Después del sector de transporte, la industria es el segundo más grande consumidor de energía en el país. Su planta industrial consume alrededor de un tercio de las necesidades energéticas nacionales. En la década pasada, la participación del consumo de energía de la industria en el total nacional decreció alrededor de 5 puntos y cedió lugar al sector transporte cuya importancia, desde el punto de vista energético, se incrementó levemente durante ese periodo.

El consumo de energía en el sector industrial, por tipo de energético, puede caracterizarse por las magnitudes que siguen:

Representa poco menos de la quinta parte del total nacional de requerimientos de productos petrolíferos.

Las necesidades de gas de la industria, significan más de las tres cuartas partes de las necesidades nacionales de ese energético.

Casi la mitad del consumo nacional de electricidad está localizada en el sector industrial.

La dependencia que la industria tiene del petróleo y del gas natural es significativa, aunque menor que la del país en su conjunto con respecto a

Cuadro 9

Ahorro de hidrocarburos en el área de transportes de Pemex  
(BDP)

Año	Proyección de la demanda	Cambio a sistemas de transporte más eficiente (10 por ciento en 5 años)	Mayor utilización del diesel*	Automóviles de menor tamaño	Ahorros totales	Demanda corregida
1981	32.3	—	—	—	—	—
1982	34.8	—	—	0.1	0.1	34.7
1983	37.4	0.8	0.1	0.3	1.2	36.2
1984	40.3	1.6	0.2	0.4	2.2	38.1
1985	43.4	2.6	0.5	0.7	3.8	39.6
1986	46.6	3.7	0.7	0.9	5.3	41.3
1987	50.2	5.0	1.1	1.1	7.2	43.0
1988	53.2	5.3	1.1	1.5	7.9	45.3
1989	56.6	5.7	1.2	1.9	8.8	47.8
1990	59.6	6.0	1.3	2.5	9.8	49.8

\* 20 por ciento de sustitución de gasolina por diesel a 5 años.

Cuadro 10

Ahorro de hidrocarburos en Petróleos Mexicanos  
(MBPD)

Año	Proyección de la demanda	Ahorros en producción industrial y explotación	Ahorros en transportes	Ahorros totales	Demanda corregida	Ahorros por ciento
1981	254.6	—	—	—	254.6	—
1982	277.5	4.9	0.1	5.0	272.5	1.8
1983	311.9	13.7	1.2	14.9	297.0	4.8
1984	346.4	21.4	2.2	23.6	322.8	6.8
1985	401.3	35.8	3.8	39.6	361.7	9.9
1986	424.8	45.4	5.3	50.7	343.9	11.9
1987	451.8	56.3	7.2	63.5	388.3	14.0
1988	475.8	67.6	7.9	75.5	400.3	15.9
1989	493.0	78.5	8.8	87.3	405.7	17.7
1990	502.6	88.5	9.8	98.8	404.8	19.8

esas mismas fuentes de energía (alrededor de 75 por ciento por parte del sector industrial y 90 por ciento del país).

En la industria los costos de la energía son parte sustancial de los costos totales de producción (entre 15 y 30 por ciento), por lo que a medida que se ahorre más energía, mayor será el efecto en el costo final del producto.

Existen varias formas para conservar energía en la industria. Las hay sin necesidad de hacer inversiones, éstas se logran a partir de ciertas mejoras en la operación de la planta:

Concientizando a los operadores de la necesidad de ahorrar energía.

Eliminando fugas de válvulas y conductos.

Ajustando el aire a los quemadores del combustible.

Optimizando las variables de operación.

Las anteriores podrían catalogarse como medidas relativamente sencillas de llevar a cabo, pero que indudablemente deben ser adoptadas en toda instalación industrial y sus efectos se notarán en forma, prácticamente, inmediata.

En un segundo grupo cabrían ciertas medidas que requieren inversiones. El ahorro de energía se lograría mediante:

La instalación de sistemas de control automático de procesos.

El uso en forma más intensiva del calor de proceso, incrementando el intercambio de calor.

La instalación de procesos paralelos, los cuales requerirían menor energía.

El uso, en forma intensiva, de aislantes en los equipos que lo requieran.

El empleo del vapor generado por el proceso para la generación de electricidad. Esta opción representa un potencial de ahorro muy importante, cuya rentabilidad está fuera de toda duda, pero que por requerir inversiones altas, su adopción no ha alcanzado el grado de desarrollo que tiene en otros países.

Resulta claro que la intensidad con que se adopten las medidas anteriores dependerá del precio de los energéticos, de la magnitud de las inversiones requeridas y de los criterios que fijen las empresas para justificar la rentabilidad de las inversiones necesarias.

Dentro del sector industrial mexicano, las industrias que más consumen energía son las siguientes: siderúrgica, cemento, textil, química, papel, minerales no ferrosos, vidrio y azúcar.

### *Posibilidades de sustitución*

El estudio de las posibilidades de sustitución entre diversas fuentes de energía requiere del análisis de varios aspectos como son: las condiciones de oferta y demanda de cada energético, así como de su grado de flexibilidad. Interesa asimismo, considerar sus precios externos *vis a vis* con los precios relativos internos.

En este apartado analizaremos las posibilidades de sustitución entre gas natural y combustóleo.

El caso del combustóleo y el gas proveen un caso de sustitución típico. Por el lado del gas, a corto y mediano plazo no es posible aumentar sensiblemente su disponibilidad neta y por lo tanto será necesario racionalizar su consumo. Las medidas para reducir el consumo de este energético, tendrán un impacto notable ya que la tasa anual promedio de crecimiento de sus ventas en el último quinquenio fue de 9.9 por ciento (20 por ciento para el consumo de Pemex y de más de 8 por ciento para el sistema eléctrico).

La instrumentación de programas de ahorro de gas natural supone la sustitución de este hidrocarburo por combustóleo. Es en las propias instalaciones de Pemex donde tales medidas tienen mayor potencial. Todo esfuerzo en este sentido permitiría, simultáneamente, aumentar el volumen de gas disponible para venderse al exterior y disminuir los excedentes exportables de combustóleo.

Los movimientos recientes en los precios del gas y del combustóleo permitirían, al primero, recobrar su valor relativo frente al segundo. Considerando el precio del combustóleo de 1973, en términos calóricos como base 100, se tiene que hasta febrero de 1982, el precio del gas se había depreciado continuamente, pues a partir de un nivel de 100.5 en 1973, cayó 5 años más tarde a 77.6 y, todavía, su tendencia era hacia la baja a principios de 1982, llegando a un nivel mínimo de 75.2 en febrero. Sin embargo, con los aumentos de 55 por ciento en el precio del gas natural y sólo de un 5 por ciento para el combustóleo, se empieza a revertir esta tendencia.

### **Política de precios internos de los energéticos**

Los precios internos de los combustibles han estado tradicionalmente por debajo de los internacionales con el propósito deliberado de alentar a la industria. Sin embargo, a partir de los aumentos en los precios de los hidrocarburos en el mercado externo y de las depreciaciones en el tipo de cambio, las diferencias entre unos y otros se han ampliado notablemente.

Es conveniente que los precios internos de algunos energéticos permanezcan a niveles inferiores a los prevalecientes en el mercado internacional, como un instrumento de fomento que puede legítimamente utilizar el país. Sin embargo, no conviene a la economía nacional continuar con una política en que los precios internos de los energéticos difieran en exceso de los que privan en el exterior. Se corre el riesgo de alentar ciertas producciones que, si bien pueden ser rentables individualmente, no generan valor agregado para el país, o bien no generan tanto como sería el caso si los insumos que absorben se emplearan en otros usos.

Como se mencionó, el deterioro relativo del precio de los principales energéticos alcanzó casi 50 por ciento entre 1960 y 1980, al compararlos con los niveles del resto de los precios internos. Además, si se comparan los precios al público de ciertos productos refinados con los de otros países, pueden observarse las diferencias tan significativas que aún se tienen.

El precio de la gasolina nova es más de cuatro veces menor al prevaleciente en otros países, e incluso sólo en seis países de una muestra de 43, el precio es menor al de México (véase el cuadro 11). En la comparación del precio de la gasolina extra que se presenta en el cuadro 12 se observa una situación similar.

El precio del diesel en México es solamente superior al de tres países de una muestra de 44. Con relación al precio más alto representa solamente el 13.5 por ciento, y el 24.5 por ciento del de Estados Unidos (véase el cuadro 13). En lo que se refiere al precio del gas licuado, sólo en Bolivia se tiene un precio menor; países con recursos petroleros como Venezuela y Kuwait, mantienen niveles mayores de precios (véase cuadro 14).

Respecto a los combustibles industriales, de una muestra de 12 países solamente en Venezuela se tienen precios menores. La relación entre los precios prevalecientes en México y Estados Unidos es de 12.9 por ciento para el gas natural y 7.8 para el combustóleo (véanse los cuadros 15 y 16).

Tomando en consideración la situación de los precios internos de los energéticos, tanto en relación con otros bienes producidos en el país como con los prevalecientes en el exterior, deberá instrumentarse una política de aumentos de los precios que permita ir corrigiendo gradualmente los mismos con el fin de evitar impactos inflacionarios excesivos, pero que al mismo tiempo refleje la intención de no mantenerlos fijos y que continúen deteriorándose en términos reales.

Con el fin de evaluar el impacto de una política de precios internos de los energéticos que tiende a corregir las distorsiones entre ellos y el resto de los bienes y servicios, se llevaron a cabo varias simulaciones de su impacto en la demanda.<sup>1</sup> Se consideraron dos alternativas de precios para el resto de los años ochenta. En el escenario *Energía II* se supone una pérdida

<sup>1</sup> Para estas simulaciones se utilizó el modelo de programación industrial de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

**Cuadro 11**  
**Precio al público de gasolina nova en México**  
**y países seleccionados, julio 1982\***

	Pesos/litro
Uruguay	44.21
Paraguay	42.91
Finlandia	35.61
Noruega	33.91
Bélgica	33.78
Italia	33.65
El Salvador	32.48
Dinamarca	32.34
Nicaragua	32.34
Holanda	32.21
Japón	31.56
Guyana	31.43
Austria	30.52
Francia	29.61
Suecia	29.34
Grecia	28.43
Panamá	28.43
Reino Unido	28.04
Sudáfrica	27.65
Guyana Francesa	27.65
Jamaica	27.65
Suiza	26.87
Honduras	25.43
Guatemala	25.04
Bahamas	19.43
Chile	19.43
Puerto Rico	18.78
Australia	18.26
Canadá	16.82
Estados Unidos	16.30
Curazao	15.39
Nigeria	15.00
Aruba	13.56
Perú	12.13
Colombia	11.09
Argentina	10.83
MEXICO	10.00
Bolivia	9.00
Kuwait	6.91
Ecuador	5.87
Cuba	5.48
Trinidad-Tobago	4.43
Venezuela	3.39

\* Se utilizó el tipo de cambio preferencial del 16 de agosto de 1982.  
Fuente: *Energy Détente* vol. III, núm. 10 agosto 9, 1982.

real en el precio del orden de 2 por ciento, tanto para la electricidad como para los productos petrolíferos. En el escenario *Energía I*, se plantea un aumento real a los precios de la electricidad cercano al 2 por ciento; en relación a los productos petrolíferos, en donde la distorsión es mayor, se proponen aumentos de precios que permitan disminuir la diferencia con ciertos precios de referencia.

Cuadro 12

Precio al público de gasolina extra en México  
y países seleccionados, julio 1982\*

	Pesos/litro
Uruguay	54.91
Estados Unidos	18.39
Canadá	18.00
MÉXICO	15.00

\* Se utilizó el tipo de cambio preferencial del 16 de agosto de 1982.

Fuente: *Energy Détente* vol. III, núm. 10, agosto 9, 1982.

La evolución de la relación entre los precios al público de combustibles seleccionados y los de referencia se presenta en el cuadro 17. Los precios de referencia de estos productos son los siguientes:

Gas natural:	gas natural de exportación a E.U.
Gasolina nova:	gasolina regular con plomo de E.U.
Gasolina extra:	gasolina regular sin plomo de E.U.
Otras gasolinas y kerosinas:	gasolina nova
Diesel:	gasolina nova
Combustóleo:	combustóleo de exportación de Venezuela
Turbosinas:	turbosina en el aeropuerto de Houston
Gas licuado:	gas licuado en la frontera de E.U.

Cuadro 13  
 Precio al público de diesel en México y países  
 seleccionados, julio 1982\*

	Pesos/litro
Austria	29.61
Finlandia	26.08
Costa Rica	24.39
Francia	24.26
Bélgica	23.61
Barbados	23.48
Guyana	22.69
Paraguay	22.56
Uruguay	22.43
El Salvador	22.17
Holanda	21.52
Dinamarca	21.13
Brasil	20.74
Guyana Francesa	20.48
Noruega	19.56
Bahamas	19.43
Nicaragua	18.91
Antigua	18.65
Dominica	18.26
Panamá	18.26
Suecia	17.87
Australia	17.74
Jamaica	17.61
Italia	17.35
Chile	16.43
Estados Unidos	16.30
Guatemala	15.65
Haití	15.65
Honduras	15.65
República Dominicana	15.00
Grecia	14.09
Granada	13.56
Canadá	12.91
Colombia	11.09
Perú	9.26
Bolivia	9.00
Nigeria	8.35
Kuwait	6.91
Trinidad-Tobago	4.43
Ecuador	4.31
MEXICO	4.00
Argentina	3.52
Cuba	1.57
Venezuela	1.17

\* Se utilizó el tipo de cambio preferencial del 16 de agosto de 1982.  
 Fuente: *Energy Détente* vol. III, núm. 10, agosto 9, 1982.

Cuadro 14

Precio al público de gas licuado en México  
y países seleccionados, julio 1982\*

	Pesos/kilogramo
Austria	439.72
Barbados	389.98
Australia	375.50
Noruega	91.43
Suecia	50.07
Uruguay	46.80
Antigua	45.71
Italia	38.09
Bahamas	34.83
Costa Rica	34.83
Bélgica	33.74
Jamaica	32.65
Honduras	30.48
Nicaragua	29.39
Chile	27.21
Grecia	25.03
República Dominicana	25.03
Holanda	23.94
Curazao	21.77
Bonaire	20.68
Guatemala	18.50
Brasil	15.24
Ecuador	15.24
Aruba	15.24
Panamá	15.24
Colombia	10.88
Estados Unidos	10.88
Venezuela	10.88
Perú	9.80
Kuwait	7.62
MÉXICO	5.10
Bolivia	4.35

\* Se utilizó el tipo de cambio preferencial del 16 de agosto de 1982.

Fuente: *Energy Détente* vol. III, núm. 10, agosto 9, 1982.

Cuadro 15

Precio al público del gas natural en México y países  
seleccionados, julio 1982\*

	Pesos/m <sup>3</sup>
Italia	18.34
Holanda	10.13
Brasil	9.52
Estados Unidos	6.89
Australia	6.50
Canadá	5.23
Chile	3.78
Colombia	2.56
MÉXICO	0.89
Venezuela	0.28

\* Se utilizó el tipo de cambio preferencial del 16 de agosto de 1982.  
Fuente: *Energy Détente* vol. III, núm. 10, agosto 9, 1982.

Cuadro 16

Precio al público del combustóleo en México y países  
seleccionados, julio 1982\*

	Pesos/m <sup>3</sup>
Japón	20 313.11
Holanda	16 624.33
Suecia	16 475.29
Austria	15 782.87
Bélgica	15 174.29
Suiza	13 851.54
Italia	12 609.53
Estados Unidos	11 997.84
Australia	11 699.76
Canadá	11 674.92
Costa Rica	10 619.21
Argentina	2 012.06
MÉXICO	937.65
Venezuela	524.75

\* Se utilizó el tipo de cambio preferencial del 16 de agosto de 1982.  
Fuente: *Energy Détente*, vol. III, núm. 10, agosto 9, 1982.

Cuadro 17

Relación precios público/precios de referencia

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Gas natural	0.094	0.118	0.144	0.180	0.210	0.245	0.300	0.387	0.500
Gasolina nova	0.474	0.518	0.551	0.600	0.664	0.734	0.850	0.922	1.000
Gasolina extra	0.710	0.689	0.820	1.000	0.985	0.970	1.000	1.000	1.000
Otras gasolinas y keros	0.237	0.233	0.264	0.300	0.330	0.363	0.400	0.447	0.500
Diesel	0.408	0.400	0.447	0.500	0.531	0.565	0.600	0.648	0.700
Combustóleo	0.088	0.071	0.091	0.120	0.160	0.214	0.300	0.367	0.450
Turbosinas	0.732	1.000	0.988	1.000	0.985	0.970	1.000	1.000	1.000
Gas licuado	0.197	0.242	0.288	0.350	0.401	0.459	0.550	0.663	0.800

De acuerdo a estos lineamientos el precio del combustóleo en México llegaría a representar 45 por ciento de su precio de referencia, los del gas natural y otras gasolinas y kerosinas 50 por ciento; el del diesel 70 por ciento, el del gas licuado 80, y los de la nova, extra y turbosinas se igualarían a su precio de referencia.

### **Proyecciones de la demanda interna de electricidad y de productos petrolíferos**

Las proyecciones de la demanda que aquí se presentan se llevaron a cabo de acuerdo a los siguientes supuestos.

- i) Se considera un mismo escenario macroeconómico. Esto es con el fin de ver las diferencias en el consumo de energía de instrumentarse las medidas de ahorro directas y de política de precios. De acuerdo a este escenario el producto total crecería a una tasa real promedio de 4.3 por ciento en el periodo 1982-90.
- ii) En el escenario I se incluye la política de precios descrita en el inciso anterior, esto es, los precios de los energéticos crecerían en términos reales en el periodo.
- iii) Con relación a otras medidas para fomentar el ahorro, se incluyen algunas específicas al sector energético y al de transporte. Con relación al primero de ellos, se incluye la disminución de la quema de gas natural en el área marítima de Campeche; sin embargo, por problemas técnicos esto se alcanzaría hasta el año de 1985. Asimismo, se suponen pérdidas relativas de productos petrolíferos menores a las de años recientes. Respecto al sector transporte se tienen dos efectos: el primero es la política de incrementar la eficiencia de los automóviles particulares, aunque hay que señalar que debido a que se aplica a los autos nuevos, su impacto significativo se tendrá después de 1990; el segundo es un uso mayor de transportes colectivos, que se refleja en un mayor contenido de energía por unidad de producto generado en el sector transportes.
- iv) El escenario II se construyó con una política de precios más moderada, esto es, los precios disminuyen en términos relativos. Asimismo no se consideran las políticas de ahorro mencionadas en los incisos anteriores.

Los resultados se presentan de manera resumida en el cuadro 18. Con relación a los productos petrolíferos se tiene para el gas natural un creci-

Cuadro 18

Tasas de crecimiento promedio de la demanda interna de productos petrolíferos y del consumo de electricidad (en por cientos)

	1982-90	
	Escenario Energía I	Escenario Energía II
Gas natural	4.5	5.6
Productos refinados	6.4	7.2
Gas licuado	6.7	7.5
Gasolinas	6.5	7.3
Petróleo diáfano	1.8	1.8
Turbosinas	6.5	6.7
Diesel	6.0	7.0
Combustóleo	7.0	8.1
Otros	5.7	5.9
Electricidad	6.6	7.6

Fuente: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, simulación con base en el modelo de programación industrial.

miento promedio de 4.5 y 5.6 por ciento, respectivamente. Este comportamiento obedece a las limitaciones de oferta que se experimentarían en los primeros años y al mayor uso de combustóleo. Hay que recordar que la política de precios supone un crecimiento mayor para el gas natural. Los productos refinados crecerían en 6.4 por ciento en el escenario I y 7.2 en el II. Es decir, la elasticidad producto en cada escenario sería de 1.5 y 1.7 respectivamente. Las gasolinas aumentarían en 6.5 y 7.3 por ciento, al favorecerse, vía incrementos significativos a los precios, el transporte colectivo.<sup>2</sup> En este sentido el diesel crecería a tasas de 6 y 7 por ciento.

El consumo de electricidad se incrementaría en promedio en 6.6 y 7.6 por ciento, respectivamente. Hay que señalar que este comportamiento no modificaría sustancialmente el observado durante las últimas dos décadas, ya que la elasticidad-producto sería de 1.5 en el primer caso y de 1.8 en el segundo.

<sup>2</sup> Es importante señalar que al mismo tiempo que se instrumente la política de precios, deben hacerse esfuerzos significativos en materia de disponibilidad de transporte colectivo.

# ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN MÉXICO: UN MODELO DE SIMULACIÓN

*Enrique de Alba,  
Hermilo López Coello  
y Juan F. Bueno Z.*

## **Introducción**

La planeación económica y el establecimiento de políticas encaminadas a alcanzar el desarrollo económico, en su sentido más amplio, requieren de instrumentos adecuados que permitan por una parte analizar la realidad del momento y por otra prever el comportamiento futuro de las variables relevantes. En un país como el nuestro, el cual actualmente atraviesa por una severa crisis financiera, esto cobra especial relevancia.

Además aunado a lo anterior, en un momento como el actual, en el que el estado de cosas se ve amenazado por una crisis financiera internacional, exageradas deudas externas de los países en desarrollo, profunda recesión económica a nivel mundial, fuerte escalada de precios, desempleo, y en particular por el tema de este trabajo, la inminente caída de los precios internacionales del petróleo, la planeación del desarrollo cobra una gran importancia.

México, durante los últimos años, ha seguido una política de apoyo, tal vez exagerado, al sector energético, descuidando otros sectores, que aunque tal vez menos rentables en el sentido microeconómico, generarían mayor empleo, redistribución de la riqueza y un desarrollo más armónico de los diferentes sectores de nuestra economía. Por este impulso a los energéticos, y en especial a los hidrocarburos, México ha llegado a una situación en la que depende en una gran medida de sus exportaciones de crudo.

Ante la coyuntura mundial actual, la planeación del desarrollo del sector petrolero en particular tiene implicaciones mucho más serias que anteriormente para toda la economía mexicana. Es aquí, en esta área de estudio donde el presente trabajo puede proporcionar algunos elementos de juicio para la toma de decisiones de política.

El análisis y pronóstico de la demanda de energía son importantes para la comprensión del sector energético, ya que pueden servir de base para

la planeación del desarrollo de la oferta, de acuerdo con los recursos disponibles, y para el diseño de políticas dirigidas a modificar los patrones de consumo adecuándolos a circunstancias específicas. La gran mayoría de los estudios existentes actualmente dentro de este tema están dirigidos a la estimación de elasticidades y a la realización de pronósticos. Los modelos han sido más o menos sofisticados según la estructura teórica en que se basen y la disponibilidad de datos.

La principal limitante en la mayoría de los estudios radica en la disponibilidad de datos, más que en cuestiones metodológicas; el propio Grupo de Trabajo sobre Estrategias Energéticas Alternativas (GTEEA)<sup>1</sup> ha señalado en su amplio estudio, el cual incluyó a México, que el principal problema a que se enfrentaron en los países en vía de desarrollo fue precisamente la falta de información.<sup>2</sup>

Durante 1982, la entonces Oficina de Asesores del C. Presidente de la República, al ver la importancia que este sector venía cobrando, y al prever las posibles dificultades en el futuro para su sano desarrollo, decidió llevar a cabo una serie de estudios relacionados con la Demanda de Energía en nuestro país. Con esta finalidad, se contrataron los servicios de dos instituciones académicas de reconocido prestigio en este campo, una nacional, otra extranjera. Éstas fueron el Massachusetts Institute of Technology (MIT), en particular el Energy Laboratory, y el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). En este ambicioso proyecto la Oficina de Asesores del C. Presidente tuvo el papel de coordinación general, así como el de obtener, depurar y procesar parcialmente la información necesaria. El coordinador general fue el licenciado Jaime Corredor, el coordinador técnico del proyecto fue el doctor Enrique de Alba, y el coordinador del área de información fue el licenciado Hermilo López Coello.

Basados en estos estudios presentamos ahora algunos de los resultados obtenidos y proponemos el uso de éstos como un modelo integrado de simulación que servirá como un primer paso para el análisis de políticas energéticas en México. Estos trabajos no estuvieron exentos de los problemas de información ya señalados, por lo que iniciamos la primera parte de este trabajo con una descripción de las características esenciales de las principales fuentes de información relacionadas con el sector energético y de los principales estudios existentes hasta ahora en nuestro país.

En la segunda parte se describe el modelo de simulación y su uso bajo diferentes escenarios.

Finalmente, se hacen algunos comentarios y recomendaciones generales de política energética para nuestro país.

Cabe señalar, que este trabajo constituye un primer esfuerzo encami-

1 En inglés, WAES, Workshop on Alternative Energy Sources.

2 WAES (1981), *Energía: Perspectivas Mundiales 1985-2000*, Fondo de Cultura Económica.

nado al uso racional de la información con que se cuenta, señalando sus deficiencias y la orientación más adecuada que puede dársele para su uso en la fijación de políticas energéticas en México.

### La información del sector energético<sup>3</sup>

La información sobre la actividad económica en nuestro país, como en cualquier otro en vía de desarrollo adolece de numerosos problemas de orden cualitativo y cuantitativo. Por fortuna, recientemente se han realizado esfuerzos importantes por depurar, ordenar y publicar mucha de la información antes dispersa y desconocida.

En el área específica de los energéticos, los problemas se acentúan. Esta rama económica, en especial la de los hidrocarburos, ha cobrado en los últimos años una gran relevancia para nuestro país. El petróleo se ha convertido en una gran palanca para el desarrollo económico de México. La producción de crudo, refinados y petroquímicos ha alcanzado altos niveles en un plazo relativamente corto con el objeto de satisfacer la creciente demanda interna por estos productos, y la demanda por dólares derivados del comercio exterior. Esto ha exigido a Petróleos Mexicanos grandes esfuerzos en materia organizativa. Sin embargo, es claro que no ha sido posible avanzar en la reestructuración al mismo paso que podría esperarse. Esto ha ocasionado, entre otros numerosos problemas, el que la información relacionada con el sector petrolero no contenga las características cualitativas y cuantitativas necesarias. A esta situación habrá que añadir otras razones como es el excesivo hermetismo entre las diferentes unidades generadoras de información, y entre éstas y el resto del Sector Público y Privado. Si bien en muchos países productores de petróleo, la información relacionada con este sector se guarda con mucho celo, éste no debería ser el caso en un país como el nuestro en el que el sistema democrático y la planeación participativa requieren de esa información. En una economía democrática y en desarrollo como la nuestra, la información cuantitativa de todos los sectores económicos, y en especial de los prioritarios, debe fluir libremente. El hecho de evitarlo simplemente restringe la participación de unidades de estudio y planeación dentro y fuera del sector público, con lo cual se limitan las alternativas que podrían generarse, por ejemplo en los centros de investigación de las diferentes universidades y centros de enseñanza superior del país.

<sup>3</sup> López Coello, R. Hermilo (1982), *La información del sector energético en México*, mimeo. Oficina de Asesores del C. Presidente.

En el caso de la energía eléctrica sucede algo similar. La Comisión Federal de Electricidad por su parte ha sido obligada a incrementar, dado el alto crecimiento en el consumo interno, su capacidad de generación en una forma extraordinaria durante los últimos años. Asimismo se ha visto en la necesidad de incursionar en nuevas áreas y formas de generación, como es la nuclear, la geotérmica, etc. Esto, como en el caso de Pemex, ha exigido numerosas reestructuraciones internas. Sin embargo, al igual que con los hidrocarburos, ha sido imposible mantener el desarrollo organizativo al mismo paso que el desarrollo de la generación, las ventas, etc., en fin de la operación de la CFE. La Comisión Federal de Electricidad genera una gran cantidad de información y trabajos de investigación que serían de gran utilidad para los estudiosos interesados en el tema, pero que debido al celo de la institución no se divulgan en la forma más adecuada.

El objeto de este ensayo es el de tratar de señalar con qué información se cuenta, cuál es su nivel de calidad y cuáles son las dificultades para obtenerla. De ninguna manera pretende ser exhaustivo, ya que por las razones antes expuestas, es muy posible que el autor desconozca la existencia de mucha de la información. Cualquier omisión simplemente reforzará el argumento de la necesidad de una mayor y más oportuna divulgación de toda la información, limitando lo confidencial a aquello que verdaderamente represente un peligro para la seguridad e independencia económica nacional.

Asimismo se revisan las características esenciales de algunos de los principales estudios realizados relacionados con la energía.

## **Petróleos Mexicanos**

Pemex publica y distribuye abiertamente dos documentos en forma anual de gran importancia: *La Memoria de Labores* y el *Anuario Estadístico*. En una forma bastante más restringida se distribuye el *Informe Institucional* cada mes. Sin embargo, existe una gran cantidad de documentos distribuidos sólo internamente y a los niveles más altos por las diferentes gerencias de la institución. Entre ellos cabe mencionar a los siguientes: *Resumen Mensual de Ventas*, *Resumen Mensual de Comercio Exterior*, *Resumen Mensual de Producción*, *Prontuario Informativo Mensual*, *Catálogo Simplificado de Precios*, *Informe al Consejo de Administración*, *Boletín Mensual de Información*, etc.

Casi toda la información contenida en estos reportes y boletines mensuales se agrega por grupos de productos a nivel nacional y se presenta en el *Anuario Estadístico* y en la *Memoria de Labores*. Sin embargo, la infor-

mación contenida en estas últimas publicaciones, dado su alto grado de agregación geográfica y en el tiempo (anual) carece de valor para los estudios del tema interesados en realizar investigaciones económicas más profundas. Así, en el caso del *Anuario Estadístico* se ofrecen datos anuales a nivel nacional de: reservas, producción, pozos exploratorios y de desarrollo, brigadas de exploración, campos, producción de crudo y gas natural, índice de productividad de pozos, producción de crudo y gas natural por entidad federativa y por zonas de producción, capacidad nominal de refinación y destilación primaria, elaboración de derivados del petróleo, rendimiento en la refinación, capacidad en las plantas petroquímicas, elaboración de los principales petroquímicos básicos, capacidad de transporte, red de oleoductos, gasoductos, poliductos y ductos, estaciones de servicio por entidad federativa, ingresos por ventas, volumen y valor de las ventas interiores de los principales petrolíferos y petroquímicos, exportaciones e importaciones de crudo, gas natural, petrolíferos y petroquímicos, precios de venta al público de los petrolíferos, etc.

En la *Memoria de Labores* se presenta básicamente la misma información en su apéndice estadístico. Sin embargo, es necesario hacer notar que en un gran número de casos, la información presentada en la *Memoria de Labores* no coincide con la del *Anuario Estadístico*. Desconocemos las causas de esta situación, pero ciertamente nos parece incomprensible.

Con la información publicada es posible formarse una vaga idea de la situación petrolera en México. Sin embargo no es suficiente para realizar estudios más profundos, por ejemplo, de tipo econométrico, ya que el número de observaciones en las series de tiempo es muy reducido.

Un problema adicional que se presenta al intentar hacer estudios de corte transversal, es la escasa información por regiones geográficas y entidades políticas. Para el caso de la producción de crudo, gas, refinados y petroquímicos, ésta se publica anualmente por regiones de producción, refinerías y plantas petroquímicas, respectivamente. Sería recomendable poder contar con información mensual e incluso diaria y con una desagregación geográfica mayor y compatible con la división política del país.

Algo parecido sucede con las reservas, las cuales se publican por áreas geográficas principales. Sin embargo, a pesar de que continuamente se hacen estudios exploratorios y se revisan las cifras de reservas, éstas se dan a conocer al público sólo el 18 de marzo y el 1o. de septiembre de cada año.

Tal vez el caso en el que se presentan mayores problemas, y en el que por lo mismo no existen estudios importantes, es en el de las ventas internas y externas. Sólo se publican datos referentes a las ventas de los principales petrolíferos y petroquímicos básicos en volumen y valor a nivel nacional y en forma anual. Esto representa grandes problemas al tratar de estimar, por ejemplo, funciones de demanda. Por una parte, las observaciones son muy limitadas por lo que es difícil realizar una estimación a

nivel nacional. Además los precios de los diferentes productos varían según la localidad geográfica.

Los únicos precios que se publican son los vigentes en el Distrito Federal. Pemex genera información, que no publica, referente a las ventas mensuales por agencia de distribución, siendo éstas alrededor de sesenta. Sin embargo, el área de influencia de cada agencia de distribución varía de acuerdo con cada producto y es muy variable en el tiempo.

Otro problema fundamental en el área de ventas, es el relacionado con el destino de las ventas por actividad económica e industrial. De esto no existe información con suficiente grado de confiabilidad. Pemex aparentemente no sabe a quién le vende qué cantidad de petrolíferos. Esto provoca que sea imposible el estimar funciones de demanda por sectores y por actividades industriales.

Otra área de problemas en la información es la relacionada con los costos de producción. Es claro que en el caso de México en el que se emplean diversos sistemas en cada una de las refinerías y plantas petroquímicas esto representa una tarea difícil. La gran variedad de crudos que se producen en México ha exigido a Pemex el desarrollo de diferentes sistemas productivos para maximizar el aprovechamiento del petróleo. Sin embargo hasta donde nosotros sabemos, si bien podrían hacerse intentos por calcular estos costos, lo único que existe son estimaciones globales muy superficiales basadas en información contable.

Consideramos que existen tres preguntas fundamentales, que dada la información existente, no pueden tener una respuesta confiable en la actualidad: ¿A quién o a qué industria se le vende qué? ¿En dónde? y ¿Cuál es el costo de producción de este producto? Las llamamos fundamentales porque es necesario responderlas para estar en condiciones de llevar a cabo una auténtica planeación del sector petrolero.

Si bien es claro que la información debe siempre llenar los requerimientos de las áreas que la solicitan para hacer estudios, el caso de la que se publica sobre hidrocarburos no está de manera alguna enfocada hacia la realización de estudios económicos; seguramente, aunque tal vez ni siquiera sea el caso de Pemex, las características de la información son suficientes para las funciones de control interno de las operaciones de la Institución. Lo que sí debe quedar claro, es la necesidad de revisar los mecanismos internos para evitar todos los problemas existentes, algunos de los cuales se mencionan aquí. En primer lugar debe buscarse la congruencia entre las diferentes fuentes de información, debe hacerse un profundo esfuerzo por seguir la cobertura geográfica que marca la división política del país, debe hacerse asimismo un gran esfuerzo por publicar información con una mayor periodicidad, etc. Es decir, debe tomarse conciencia de que en la medida en que la calidad de la información disponible sea mayor, el número de estudios internos y externos sobre temas diversos relacionados con los

hidrocarburos será también mayor y de mejor calidad, lo cual finalmente redundará en un mejor conocimiento sobre la realidad y sobre las opciones de política, y esto en última instancia beneficiará a Pemex mismo, y a nuestro país.

### Comisión Federal de Electricidad

En el caso de la energía eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad divulga diversas publicaciones con información anual. Las principales son: *Estadísticas, Resultados de Explotación, Informe de Operación, Estadísticas por Entidad Federativa e Informe de Generación*. La información publicada anualmente se refiere, en términos generales, a la capacidad instalada en operación, la generación bruta y neta, la energía comprada y disponible, ventas totales, ventas directas al usuario y a través de pequeñas revendedoras, facturación a usuarios, activos fijos en operación, usuarios, trabajadores permanentes, poblaciones con servicio, consumo de combustibles, etc.

Toda la información publicada es a nivel nacional, y sólo en algunos casos se desglosa por las áreas geográficas designadas por la CFE. Dada la complejidad de sus actividades la CFE ha dividido al país según la tarea en áreas, regiones, sistemas, etc. Por lo tanto la información publicada cuenta con esa misma clasificación geográfica. Sin embargo, en ningún caso corresponde a la división política del país. La única información publicada por entidad federativa es la relativa a la población beneficiada y por beneficiar, a las instalaciones en operación, al número de usuarios, a las ventas, al consumo por tipo de usuario, y a la facturación por tipo de usuario, todo a nivel anual.

En el área de ventas existen diversos problemas relacionados con la información. Tal vez el más crítico sea la carencia de información por cliente individual para periodos de tiempo mayores a 12 meses. Existe información de ventas por tarifa. Sin embargo la estructura tarifaria ha sufrido varias modificaciones, es bastante compleja y no siempre es fácil identificar a un tipo de industria dentro de una tarifa, por lo que a veces es necesario revisar a cada empresa por tipo de industria. Aquí es en donde cobra especial relevancia la necesidad de contar con bancos de datos para años anteriores de las ventas por cliente.

En el caso de la energía eléctrica, toda la información publicada tiene carácter anual. Esto implica grandes problemas, especialmente en el área

de estudios de demanda para realizar estimaciones, dado el limitado número de observaciones.

En el área de consumo de combustibles por la CFE, la información que esta institución publica difiere de la publicada por Pemex como ventas directas a CFE.

Existen numerosas fuentes de información restringidas al público en general. Tal es el caso de las Curvas Típicas Diarias y Curvas de Duración de Carga Mensuales de los Sistemas Eléctricos de México.

También existe dentro de la CFE información referente a la inversión por realizar por esa institución en el llamado Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE). Sin embargo este programa no se publica ni distribuye, en detrimento de los estudiosos de la materia, además de los sectores industriales que venden a CFE bienes de capital y que podrían así planear su producción en forma más adecuada.

Asimismo no se publican, tal vez porque no se conocen, los datos relativos al costo de generación por tipo de planta. Por ejemplo, no se sabe cuánto se ha erogado en la Planta de Laguna Verde, ni en otras plantas convencionales. Al desconocer el costo real de estas grandes inversiones, resulta por demás muy difícil llevar a cabo tareas de planeación.

En la CFE, como en Pemex, existen preguntas fundamentales que no tienen respuesta, como son: ¿cuánto cuesta la producción de energía eléctrica? y ¿a quién se le vende cuánto? Las recomendaciones que nosotros haríamos a la CFE son las mismas que las apuntadas en el caso de Pemex: tomar conciencia del papel que el sector energético tiene y seguirá teniendo dentro de nuestra economía, y por lo tanto de la necesidad de generar y divulgar información oportuna con las características necesarias para ser empleadas en estudios de tipo económico. No cabe ya la posibilidad en nuestro país de continuar manteniendo el celo institucional en relación a la información.

En términos generales, existen además otras fuentes de información en el área de energía, tales como diversas publicaciones de la Secretaría de Programación y Presupuesto y la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

Estas dependencias realizan grandes esfuerzos recabando la información de los organismos que forman parte del sector energético, tales como Pemex y CFE. Sin embargo es muy común, además del retraso en su publicación, que las cifras difieran considerablemente entre las diversas fuentes. Esto provoca grandes confusiones, como ya se apuntó antes, y promueven la existencia de una amplia gama de posibles datos a tomar acerca de la misma variable. Esto provoca una gran diversidad en los resultados de los trabajos de investigación.

En algunos casos el estudioso se ve ante la necesidad de tomar variables "proxie", al carecerse de los datos reales. Esto provoca una desviación inevitable que va en detrimento de los resultados de los estudios.

Algunas dependencias del Sector Público, como la Dirección General de Energía de SEPAFIN, y la Oficina de Asesores del Presidente, han tenido que llevar a cabo encuestas entre los consumidores de energía, particulares e industriales, para tratar de obtener información más oportuna y confiable. Esto ha sido necesario pues los organismos encargados de conocer esta información no cuentan con ella.

Todo lo anterior ha dado por resultado la existencia de un número importante de estudios que tratan sobre un tema en común, pero que llegan a resultados muy diferentes, e incluso opuestos en algunos casos. Es por tanto necesario e indispensable uniformar la información verificando su calidad y oportunidad.

A continuación comentaremos algunos de los principales estudios relacionados con el tema de los energéticos en nuestro país.

### Estudios anteriores

El pronóstico de la demanda de energéticos en México ha sido realizado en repetidas ocasiones aunque en forma parcial según la dependencia que lleve a cabo el análisis. A continuación se presenta una recopilación sobre los modelos que se han elaborado para llevar a cabo pronósticos en el sector en forma más o menos global.

En 1973-1975 el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) llevó a cabo un análisis muy completo de la demanda de derivados del petróleo,<sup>4</sup> el cual incluye un desglose de la misma por sectores consumidores, y dentro de cada uno de éstos, por los principales energéticos. El estudio presenta pronósticos al año 1985. Los pronósticos se realizaron básicamente mediante extrapolación de las tendencias históricas. En lo referente al origen de la información se señala que se estimó en el mismo Instituto combinando la proveniente de Pemex con criterios y experiencias propios.

En 1981 se llevó a cabo una "actualización" de dicho estudio<sup>5</sup> la cual quedó plasmada en un amplio ensayo en el que se presentan pronósticos hasta 1990 para tres alternativas diferentes de crecimiento del PIB. Este estudio se refiere también a derivados del petróleo. Las fuentes de información son las mismas que las del primero aunque no necesariamente coinciden y los criterios de desagregación no son los mismos.

En 1976, el Centro de Investigaciones y Docencia Económica (CIDE),

<sup>4</sup> Instituto Mexicano del Petróleo (1973), *Serie energéticos*, vol. I.

Instituto Mexicano del Petróleo (1975), *Serie energéticos*, vol. II.

<sup>5</sup> Instituto Mexicano del Petróleo (1981), *Demanda de productos de la industria petrolera*, Subdirección de Estudios Económicos y Planeación Industrial.

llevó a cabo una extensísima recopilación<sup>6</sup> de estudios nacionales e internacionales sobre demanda de energía. Con relación a México se clasifican en estudios que estiman la demanda de energía total y aquellos que se ocupan de un sector consumidor energético específico como el de gasolinas.

En relación con los estudios de la demanda de energía total el estudio del CIDE señala varios de la Comisión de Energéticos,<sup>7</sup> de circulación limitada, y los del IMP ya mencionados, así como uno de la Oficina de Coordinación y Estudios Técnicos de Pemex (1975)<sup>8</sup> señalan algunas deficiencias de los modelos como son el no incorporar variables relevantes y no presentar resultados estadísticos. En cuanto a los estudios parciales también se presenta una descripción de los métodos e información utilizada así como de sus limitantes.

El propio estudio del CIDE presenta estimación de funciones de demanda por sectores con indicación explícita de los criterios de estimación y desagregación utilizados, además de los pronósticos obtenidos hasta el año 1980.

El esfuerzo más reciente de pronóstico de la demanda de energía en México lo constituye el Programa de Energía elaborado por SEPAFIN en base a los submodelos de electricidad e hidrocarburos, del Modelo del Programa Nacional de Desarrollo Industrial.<sup>9</sup> Se basa en las matrices de insumo producto y desagrega la rama 7 de la matriz en ciertos productos específicos. La demanda de dichos productos se estima mediante varios tipos de funciones que incorporan el efecto de los precios. Considera también la oferta y la interacción de los submodelos con el modelo macroeconómico. Los datos de producción total, ventas interiores e importaciones corresponden a las *Memorias de Labores* de Pemex. La información relativa al consumo por sector se calculó a partir de datos directos y algunas cifras se estimaron. Se obtienen resultados para dos escenarios de política económica y energética.

Se observa que en todos los estudios realizados, las fuentes básicas de información son Pemex, CFE y SPP. En todas ellas se utiliza cierto grado de subjetividad cuando la información cuantitativa no está directamente disponible.

6 CIDE (1976), *La evaluación de proyectos y metodologías de demanda en el sector energético nacional*, 2 volúmenes, Grupo de economía de energéticos.

7 Comisión de Energéticos (1976), pronósticos de demanda de energía (modelos conjuntos), mimeo.

8 Pemex (1975), *Consumo industrial de energéticos*, OCET, mimeo.

9 Willars, J.M. (1981), *Sectoral Planning in the Mexican Economy: Design and Implementation of an Hydrocarbon Submodel*; SEPAFIN (1982), *El modelo industrial de México, estudios sobre programación industrial*, num. 3.

## El modelo de simulación

### *Estructura*

Como se señala en la parte anterior existen o han existido en México diversos modelos que permiten pronosticar la demanda de energéticos. De ello el más completo es el del programa de energía.

Dada la trascendencia de los energéticos en el momento actual se consideró importante contar con un modelo que permitiese conocer el comportamiento de la demanda y con el que se pudieran analizar en forma detallada los efectos de diferentes políticas.

El modelo de simulación desarrollado por la Oficina de Asesores del C. Presidente de la República<sup>10</sup> está constituido por un conjunto de ecuaciones, por energético y por sector, las cuales se especificaron en base a las variables económicas que determinan la demanda de cada uno.

El considerar o no explícitamente un combustible en un sector dado, estuvo condicionado a la disponibilidad de información. Tanto en lo referente a la demanda o consumo del mismo como a la de las variables determinantes.

Se llevaron a cabo numerosas pruebas con el objeto de llegar a la "mejor" ecuación en cada caso. Los métodos de estimación utilizados están sujetos a las mismas condicionantes y no siempre fue posible utilizar el que, de acuerdo con la teoría estadística, debía ser empleado. En especial el caso de los métodos de estimación simultánea no se utilizaron tan extensamente como era deseable por la incompatibilidad de las distintas fuentes de información, principalmente en lo que se refiere al periodo y número de observaciones. En cualquier caso se utilizó la máxima información disponible.

Las ecuaciones se integraron en un programa de cómputo al que se alimentaban los valores futuros de las variables exógenas y de política. La distinción entre estas dos clases de variables radica en que las primeras son aquellas que se determinan fuera del modelo pero que en este caso no se utilizan para probar diferentes alternativas, mientras que en el caso de las segundas, aparte de determinarse fuera del modelo se generan distintos resultados según las políticas que se deseen estudiar.

En las siguientes páginas se presenta un resumen de los resultados obtenidos para cada sector así como cada una de las ecuaciones que integran el modelo. En cada caso se señalan varias características a saber:

<sup>10</sup> De Alba, E. (1982), *Análisis de la demanda de energía en México. Un modelo de simulación*, mimeo. Oficina de Asesores del C. Presidente.

Sector consumidor  
 Energético(s) considerado(s)  
 Fuente de la estimación  
 Metodología de estimación  
 Periodo utilizado  
 La ecuación, con estadísticas relevantes

Al final de las ecuaciones se incluye una descripción de las variables utilizadas. Las fuentes de las mismas y sus unidades se detallan en cada uno de los documentos. En todos los casos LN indica que se toma el logaritmo natural de la variable y las cantidades entre paréntesis que aparecen abajo de los coeficientes corresponden a su respectiva estadística; D.W. se refiere a la estadística Durbin-Watson.

Sector: Residencial  
 Electricidad  
 Fuente: Estimación propia  
 Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios  
 Periodo: 1962-1979  
 Ecuación:

$$\text{LN}(\text{F20RS}/\text{POB}) = -3.94712 + 1.47235 \text{ LN}(\text{YDR}/\text{POB}) \\
\quad \quad \quad (4.57) \quad (9.27) \\
\quad \quad \quad -0.88740 \text{ LN}(\text{RPER}) \\
\quad \quad \quad (10.66)$$

$$R^2 = .991 \\
\text{D.W.} = 1.899$$

Sector: Residencial  
 Gas natural  
 Fuente: Samaniego, R. y E.R. Berndt (1982), *Residential Energy Demand in México*, Massachusetts Institute of Technology, elaborado para la Oficina de Asesores del C. Presidente.  
 Metodología de estimación: mínimos cuadros ordinarios.

$$\text{LN}(\text{F2RS}/\text{POB}) = 11.0069 + 0.47558 \text{ LN}(\text{URBI}) \\
\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad (1.05) \\
\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad + 1.5706 \text{ LN}(\text{YDR}/\text{POB}) \\
\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad (4.04) \\
\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad -0.06071 \text{ LN}(\text{RPNGS}) \\
\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad (1.93)$$

$$R^2 = .938 \\
\text{D.W.} = 2.915$$

Sector: Residencial

Gas L.P.

Fuente: estimación propia

Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios

Periodo: 1970-1980

Ecuación:

$$\begin{aligned} \text{LN}(\text{F15RS}/\text{POB}) = & -16.3881 + 1.69330 \text{ LN}(\text{YDR}/\text{POB}) \\ & (5.57) \\ & - .04230 \text{ LN}(\text{P4R}) \\ & (0.65) \end{aligned}$$

$$R^2 = .827$$

$$\text{D.W.} = 1.255$$

Sector: Residencial

Kerosina (diáfano)

Fuente. Samaniego, R. y E. R. Berndt (1982), *Residential energy demand in Mexico*, Massachusetts Institute of Technology, elaborado para la Oficina de Asesores del C. Presidente.

Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios

Periodo: 1962-1979

Ecuación:

$$\begin{aligned} \text{LN}(\text{F14RS}/\text{POB}) = & -3.44027 - 0.05633 \text{ ANG} - 0.75869 \text{ LN}(\text{YDR}/\text{POB}) \\ & (7.93) \quad (1.50) \quad (3.30) \\ & - .00427 \text{ LN}(\text{RPKE}) \\ & (1.44) \end{aligned}$$

$$R^2 = .926$$

$$\text{D.W.} = 1.0045$$

Sector: Transporte

Electricidad (STC-Metro)

Fuente: E. R. Berndt, G. Botero (1982), *The mexican energy demand model: Results for the transportation sector*, Massachusetts Institute of Technology, elaborado para la Oficina de Asesores del C. Presidente.

Metodología de estimación: estimación simultánea de un sistema de ecuaciones por mínimos cuadrados.

Periodo: 1970-1980

Ecuaciones.

$$\begin{aligned} a) \text{ LN}(\text{EFF}) = & 1.47267 - 0.03232 \text{ LN}(\text{TIME}) \\ & (37.28) \quad (1.47) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b) \text{ LN}(\text{SW9}) = & 13.2632 - 0.26015 \text{ LN}(\text{NSW}) \\ & (29.63) \quad (3.77) \end{aligned}$$

$$c) \text{ F20SW} = \text{NSW} * \text{EFF} * \text{SW9}$$

Sector: Transporte

Diesel (ferrocarriles)

Fuente: E.R. Berndt, G. Botero (1982), *The mexican energy demand model: Results for the transportation sector*, Massachusetts Institute of Technology, elaborado para la Oficina de Asesores del C. Presidente.

Metodología de estimación: estimación de un sistema de ecuaciones simultáneas por el método de máxima verosimilitud con información completa (FIML)

Periodo: 1960-1979

Ecuaciones:

$$a) \text{ LN(FRRR)} = 3.3776 (1.46) - .67183 (4.11) + .67183 \text{ LN(F12RR(-1))} \\ + .97557 (4.37) \text{ LN(TNKM)} - .67183 \text{ LN(TNKM(-1))}$$

$$b) \text{ TNKM} = (.60) \text{ PTR} + (.247) \text{ Y009} + (.186) \text{ T903} + (.30) \text{ T903} + .20257 \\ + .76008 (1.89) \text{ TNKM (-1)} \\ - .05621 \text{ PTR} + .44101 \text{ Y009} + .60153 \text{ T903} \\ - .76008 \text{ PTR(-1)} + .44101 \text{ Y009(-1)} + .60153 \text{ T903(-1)} + .20257$$

Sector: Transporte

Diesel (automotriz, carga y pasajeros)

Fuente: E.R. Berndt, G. Botero (1982), *The mexican energy demand model: Results for the transportation sector*, Massachusetts Institute of Technology, elaborado para la Oficina de Asesores del C. Presidente.

Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios

Periodo: 1960-1979

Ecuación

$$\text{LN(F12MV/POB)} = -1.26924 (1.28) - 0.26107 (1.51) \text{ LN(RPDI)} \\ + .25195 (1.27) \text{ LN(RPIB/POB)} \\ + .78383 (7.90) \text{ LN(F12MV (-1)/POB(-1))}$$

$$R^2 = .994$$

$$D.W. = 2.7374$$

Sector: Transporte

Gasolinas automotrices

Fuente: E.R. Berndt, G. Botero (1982), *The mexican energy demand model: Results for the transportation sector*, Massachusetts Institute of Technology, elaborado para la Oficina de Asesores del C. Presidente.

Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios con un modelo autoregresivo de orden 1, AR(1), en los residuales.

Periodo: 1960-1979

Ecuación:

$$\begin{aligned} \text{LN(GVM)} = & -1.94265 (1-.30944) + .30944 \text{ LN (GVM(-1))} \\ & (1.33) \\ & -.18668 (\text{LN(PREG)}-.30944 \text{ LN(PREG(-1))}) \\ & (4.90) \\ & +.49825 (\text{LN(RPIB)}-.30944 \text{ LN(RPIB(-1))}) \\ & (3.77) \\ & +.51785 (\text{LN(GVM(-1))}-.30944 \text{ LN(GVM(-2))}) \\ & (4.59) \end{aligned}$$

$$R^2 = .999*$$

$$\text{D.W.} = 2.014*$$

\*Basados en los valores corregidos.

Sector: Transporte

Gasavión y turbosina

Fuente: E. R. Berndt, G. Botero (1982), *The mexican energy demand model: Results for the transportation sector*, Massachusetts Institute of Technology, elaborado para la Oficina de Asesores del C. Presidente.

Metodología de estimación: estimación de un sistema de ecuaciones simultáneas con el método de máxima verosimilitud con información completa (FIML).

Periodo: 1969-1979

Ecuaciones:

$$\begin{aligned} a) \text{ LN(T025)} = & 7.148 + .00043 \text{ YDR} - 3.329 \text{ RDOPR} \\ & (70.11) (12.97) (5.16) \end{aligned}$$

$$\text{D.W.} = 1.590$$

$$\begin{aligned} b) \text{ LN(T026)} = & 11.166 + .0002 (\text{YDR/REXC}) - .447 \text{ RINPR} \\ & (27.02) (8.83) (7.55) \\ & - .096 \text{ REXC} \\ & (10.01) \end{aligned}$$

$$\text{D.W.} = 1.724$$

$$\begin{aligned} c) \text{ LN(F11AR)} = & 3.056 + .198 \text{ LN(T025)} - .103 \text{ LN(TIME)} \\ & (6.79) (3.35) (3.86) \end{aligned}$$

D.W. = 1.773

$$d) \text{ LN(F13AR)} = -2.006 + .285 \text{ LN(T025)} + .702 \text{ LN(T026)}$$

(3.51)    (3.80)                      (6.70)

D.W. = 1.8885

Sector: Industrial

Combustóleo, diesel, gas natural y gas L.P.

Fuente: Samaniego, R. (1982), *Sustitución en el uso de energéticos en el sector industrial mexicano y lineamientos de política de precios.*

Metodología de estimación: Estimación simultánea de un sistema de ecuaciones de demanda mediante el método de máxima verosimilitud con información completa (FIML). Se combinan con una ecuación que estima del gasto total de energéticos.

Periodo: 1970-1980

Ecuaciones:

$$a) \text{ SNGS} = 1.53616 + .10374 \text{ LN(RPNGE)} - .05781 \text{ LN(RPCOE)}$$

(3.74)    (2.02)                      (3.22)

$$+ .14695 \text{ LN(RPGIE)} - .03409 \text{ LN(RPEDI)}$$

(1.66)                                      (3.84)

$$- .04499 \text{ LN(RPLPE)} + .02594 \text{ LN(RPKEE)}$$

(4.91)                                      (1.88)

$$+ .09722 \text{ LN(RPIB)}$$

(2.78)

$$b) \text{ SCOM} = .09115 - .05781 \text{ LN(RPNGE)} + .01749 \text{ LN(RPCOE)}$$

(.57)    (3.22)                      (.95)

$$+ .02958 \text{ LN(RPGIE)} + .01015 \text{ LN(RPEDI)}$$

(5.98)                                      (1.42)

$$+ .00582 \text{ LN(RPLPE)} + .05676 \text{ LN(RPKEE)}$$

(.82)                                      (8.51)

$$+ .00424 \text{ LN(RPIB)}$$

$$c) \text{ SDIE} = -.07601 - .03409 \text{ LN(RPNGE)} + .01015 \text{ LN(RPCOE)}$$

(3.84)                                      (1.42)

$$+ .00272 \text{ LN(RPGIE)} + .05401 \text{ LN(RPEOI)}$$

(1.40)                                      (11.13)

$$- .01078 \text{ LN(RPLPE)} + .01265 \text{ LN(RPKEE)}$$

(4.52)                                      (3.95)

$$+ .01187 \text{ LN(RPIB)}$$

(1.72)

$$d) \text{ SLPG} = .34852 - .04499 \text{ LN(RPNGE)} + .00582 \text{ LN(RPCOE)}$$

(4.03)    (4.90)                      (.82)

$$\begin{aligned}
 & + .01829 \text{ LN(RPGIE)} - .01078 \text{ LN(RPEOI)} \\
 & \quad (9.12) \quad \quad \quad (4.52) \\
 & + .04205 \text{ LN(RPLPE)} + .02688 \text{ LN(RPKEE)} \\
 & \quad (13.63) \quad \quad \quad (9.81) \\
 & - .02100 \text{ LN(RPIB)} \\
 & \quad (3.23) \\
 e) \text{ LN(RTEX)} = & - .804521 + .68101 \text{ LN(RPIB)} \\
 & (4.26) \quad (7.14) \\
 R^2 = & .85 \\
 \text{D.W.} = & 1.9907
 \end{aligned}$$

Sector: Industrial

Electricidad

Fuente: estimación propia

Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios

Periodo: 1970 y 1975-1980

Ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{LN(F20IN)} = & 2.4171 + 1.3805 \text{ LN(RPIBIN)} \\
 & (2.78) \quad (8.69) \\
 & - .05367 \text{ LN(RPELI/RPFI)} \\
 & (.23)
 \end{aligned}$$

$$R^2 = .959$$

Sector: Industrial

Carbón

Fuente: estimación propia

Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios con un modelo  
autoregresivo de primer orden, AR(1), en el término de error.

Periodo: 1960-1980

Ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{LN(CAR)} = & -7.32376 (1 - .4682) + .4682 \text{ LN(CAR(-1))} \\
 & (4.79) \quad \quad \quad (2.37) \\
 & + 1.4165 (\text{LN(RPIBIN)} - .4682 \text{ LN(RPIBIN(-1))}) \\
 & (10.99)
 \end{aligned}$$

$$R^2 = .960^*$$

$$\text{D. W.} = 1.95^*$$

\*Se basan en las variables transformadas.

Sector: Agropecuario, comercio-servicios, servicios públicos

Electricidad

Fuente: Estimación propia

Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios



Y009	PIB real de los principales sectores usuarios del FFCC
T903	Número de carros de carga de los FFCC
PTR	Precio real por tonelada-kilómetro
GVM	Consumo de gasolinas automotrices
PREG	Precio promedio real de la gasolina automotriz
T025	Número de pasajeros-kilómetro transportados en vuelos domésticos
T026	Número de pasajeros-kilómetro transportados en vuelos internacionales
YDRU	Ingreso disponible real entre el tipo de cambio real
F11AR	Consumo de gasavión
F13AR	Consumo de turbosina
REXC	Tipo de cambio real
RINPR	Precio real del transporte aéreo internacional
RDOPR	Precio real del transporte aéreo doméstico
SNGS	Proporción del gasto industrial en energéticos que corresponden al gas natural
SCOM	Proporción del gasto industrial en energía que corresponde a combustóleo
SDIE	Proporción del gasto industrial en energía que corresponde a diesel
SLPG	Proporción del gasto industrial en energía que corresponde a gas L.P.
RTEX	Gasto real industrial total de energía
RPNGE	Precio relativo del gas natural respecto a electricidad
RPCDE	Precio relativo de combustóleo respecto a electricidad
RPGIE	Precio relativo de gasolinas industriales respecto a electricidad
RPEDI	Precio relativo de diesel respecto a electricidad
RPLPE	Precio relativo de gas L.P. respecto a electricidad
RPKEE	Precio relativo de kerosinas respecto a electricidad
F201N	Consumo industrial de electricidad
RPELI	Precio real de la electricidad para uso industrial
RPFI	Precio real promedio de "otros combustibles" industriales distintos de electricidad
RPIBIN	PIB industrial real a pesos de 1970
CAR	Consumo nacional de carbón lavado
F20AG	Consumo de electricidad para bombeo agrícola
F20CS	Consumo de electricidad en el sector comercio-servicios
F20GO	Consumo de electricidad para servicios públicos
RPIBAB	PIB agrícola real en pesos de 1970
RPIBC	PIB real del sector comercio en pesos de 1970
RPES	Precio real de la electricidad para uso en el sector agrícola

RPEG	Precio real de la electricidad para servicios públicos
RPEA	Precio real de la electricidad para uso agrícola.

### Simulaciones

Con base en el modelo de simulación se obtuvieron resultados para dos juegos de valores de las variables de política. Tanto los valores de éstas como los de las exógenas se generaron a partir de las dos alternativas que se presentan en el Plan de Acción del Sector Público (PASP).

Las paginas 34 a 41 muestran los resultados de ambas simulaciones. En todos los casos se indica a qué escenario corresponden los datos.

Cabe notar que el primer escenario lleva implícitos aumentos muy considerables en los precios de los energéticos lo cual resulta en caídas muy fuertes de su demanda. El segundo supone precios reales constantes de los mismos y sus efectos sobre la demanda son variables.

Estos resultados son un primer ensayo con el modelo que en cierta forma han servido para afinarlo.

#### Modelo de demanda de energía petrolíferos pronósticos

##### Escenario 1

	Gas natural	Gas L. P.	Diáfano	Combustóleo
1982	9489	35709	15693	20666
1983	10574	33726	16518	15193
1984	8867	35529	16587	14857
1985	7119	37848	16557	14363
1986	5761	40939	16431	14349
1987	4499	44446	16249	14215
1988	3454	47091	16209	13188
1989	3074	49941	16122	12072
1990	2783	53457	15962	11146

## Escenario 2

	Gas natural	Gas L. P.	Diáfano	Combustóleo
1982	9489	35705	15694	20654
1983	11751	33783	16517	11944
1984	11605	35860	16585	12460
1985	11295	38510	16550	12891
1986	11045	41796	16418	13447
1987	10826	45576	16234	14139
1988	10624	48592	16196	14627
1989	10353	51990	16110	15062
1990	10148	56092	15952	15519

Unidades: gas natural en millones de metros cúbicos.  
Diáfano, combustóleo y gas L.P. en miles de barriles

Modelo de demanda de energía  
petrolíferos  
Tasas de crecimiento

## Escenario 1

	Gas natural	Gas L. P.	Diáfano	Combustóleo
1983	-11.44	-5.55	5.26	-26.48
1984	-16.14	5.35	0.41	- 2.21
1985	-19.72	6.53	-0.18	- 3.32
1986	-19.07	8.16	-0.76	- 0.10
1987	-21.91	8.57	-1.11	- 0.94
1988	-23.23	5.95	-0.24	- 7.22
1989	-11.00	6.05	-0.54	- 8.46
1990	- 9.32	7.04	-0.99	- 7.68

## Escenario 2

	Gas natural	Gas L. P.	Diáfano	Combustóleo
1983	23.84	-5.39	5.25	-42.17
1984	-1.24	6.15	0.41	4.33
1985	-2.67	7.39	-0.21	3.46
1986	-2.21	8.53	-0.80	4.31
1987	-1.99	9.05	-1.12	5.15
1988	-1.86	6.62	-0.24	3.45
1989	-2.55	6.99	-0.53	2.97
1990	-1.98	7.89	-0.98	3.04

Modelo de demanda de energía  
petrolíferos  
pronósticos

## Escenario 1

	Gasolina aut.	Gasavión	Turbosina	Diesel
1982	20681	99	1697	10673
1983	20813	98	1660	10386
1984	21292	100	1812	10089
1985	21825	103	2017	9563
1986	22435	107	2286	9014
1987	22968	111	2623	8374
1988	23187	115	2929	7607
1989	23518	119	3303	6872
1990	24010	125	3795	6217

## Escenario 2

	Gasolina aut	Gasavión	Turbosina	Diesel
1982	20681	99	1697	10673
1983	21648	98	1660	10891
1984	22735	100	1812	11361
1985	23912	103	2017	11841
1986	25267	107	2286	12374
1987	26808	111	2623	12982
1988	28286	115	2929	13577
1989	29758	119	3303	14171
1990	31397	125	3795	14803

Unidades: en millones de litros.

Modelo de demanda de energía  
petrolíferos  
tasas de crecimiento

## Escenario 1

	Gasolina aut.	Gasavión	Turbosina	Diesel
1983	0.64	-1.46	-2.15	-2.69
1984	2.30	2.38	9.18	-2.86
1985	2.51	3.10	11.31	-5.21
1986	2.80	3.78	13.34	-5.75
1987	2.37	4.25	14.72	-7.09
1988	0.95	3.31	11.65	-9.16
1989	1.42	3.70	12.79	-9.66
1990	2.09	4.39	14.90	-9.54

## Escenario 2

	Gasolina aut.	Gasavión	Turbosina	Diesel
1983	4.68	-1.46	-2.15	2.04
1984	5.02	2.38	9.18	4.32
1985	5.18	3.10	11.31	4.22
1986	5.67	3.78	13.34	4.51
1987	6.10	4.25	14.72	4.91
1988	5.51	3.31	11.65	4.58
1989	5.21	3.70	12.79	4.38
1990	5.51	4.39	14.90	4.46

Modelo de demanda de energía  
electricidad  
pronósticos

## Escenario 1

	Agrícola	Comercio	Servicios públicos
1982	4308	11622	4237
1983	4702	11615	4566
1984	5091	12127	4883
1985	5466	12668	5212
1986	5890	13297	5554
1987	6368	13980	5912
1988	6776	14526	6236
1989	7326	15131	6624
1990	7936	15864	7029

## Escenario 2

	Agrícola	Comercio	Servicios públicos
1982	4308	11622	4237
1983	4881	11674	4608
1984	5362	12211	4945
1985	5829	12767	5293
1986	6371	13415	5660
1987	6982	14123	6046
1988	7607	14716	6414
1989	8264	15333	6820
1990	8992	16077	7245

Unidades: en gigawatts hora.

Modelo de demanda de energía  
electricidad  
Tasas de crecimiento

## Escenario 1

	Agrícola	Comercio	Servicios públicos
1983	9.13	-0.06	7.76
1984	8.28	4.41	6.95
1985	7.36	4.46	6.72
1986	7.75	4.96	6.57
1987	8.12	5.14	6.46
1988	6.41	3.90	5.48
1989	8.11	4.17	6.21
1990	8.32	4.84	6.11

## Escenario 2

	Agrícola	Comercio	Servicios públicos
1983	13.29	0.45	8.74
1984	9.86	4.60	7.32
1985	8.72	4.56	7.04
1986	9.28	5.07	6.93
1987	9.60	5.28	6.81
1988	8.94	4.20	6.08
1989	8.64	4.20	6.33
1990	8.81	4.85	6.23

Modelo de demanda de energía  
electricidad  
pronósticos

## Escenario 1

	Residencial	Transporte	Industrial	Total
1982	12627	505	26448	71383
1983	12281	602	25495	70801
1984	12591	856	27667	75528
1985	12974	942	30591	81067
1986	13555	998	34048	87624
1987	14296	1052	37980	95087
1988	14460	1106	40798	100241
1989	15154	1164	44557	107474
1990	16136	1219	48471	115477

## Escenario 2

	Residencial	Transporte	Industrial	Total
1982	12128	505	26443	70462
1983	12798	602	25435	71362
1984	13559	856	27388	76529
1985	14352	942	30037	82382
1986	15421	998	33211	89376
1987	16722	1052	36612	97097
1988	17686	1106	38850	102880
1989	18660	1164	41968	109847
1990	19897	1219	45152	117461

Unidades: en gigawatts hora.

Modelo de demanda de energía  
electricidad  
tasas de crecimiento

## Escenario 1

	Residencial	Transporte	Industrial	Total
1983	2.74	19.19	-3.60	-0.82
1984	2.53	42.23	8.52	6.68
1985	3.04	10.05	10.57	7.33
1986	4.48	5.87	11.30	8.09
1987	5.47	5.46	11.55	8.52
1988	1.15	5.11	7.42	5.42
1989	4.80	5.26	9.21	7.22
1990	6.48	4.75	8.78	7.45

## Escenario 2

	Residencial	Transporte	Industrial	Total
1983	5.52	19.19	-3.81	1.28
1984	5.95	42.23	7.68	7.24
1985	5.85	10.05	9.67	7.65
1986	7.45	5.87	10.57	8.49
1987	8.44	5.46	10.24	8.64
1988	5.76	5.11	6.11	5.96
1989	5.51	5.26	8.03	6.77
1990	6.63	4.75	7.59	6.93

## Análisis de los resultados

Los dos escenarios para los cuales se obtuvieron resultados con el programa de simulación corresponden esencialmente a dos políticas alternativas de precios para los diversos energéticos. En ambos casos se utilizó una hipótesis de crecimiento del PIB, por sector, que sólo varía ligeramente en el industrial de un escenario a otro; las tasas de crecimiento asumidas aparecen en el cuadro correspondiente a variables exógenas.

En lo referente a precios de energéticos, el escenario 1 corresponde a una política de incrementos en los precios reales de los energéticos, a partir de su valor en 1982. Los objetivos a lograr en este sentido son los siguientes: que los precios del gas natural y las gasolinas industriales alcancen el 50% del precio de referencia —el de los Estados Unidos— para el año de 1990; las gasolinas automotrices deberán llegar al 100% del precio de referencia: la Nova en 1990 y la Extra en 1985. La turbosina deberá alcanzar el precio internacional ya en 1983. Por lo que respecta al diesel, éste deberá llegar a un precio equivalente al 70% del de referencia para 1990 y el gas licuado deberá llegar al 80% del precio de referencia en el mismo año.

En el escenario 1, los supuestos de aumentos en los precios reales de la energía eléctrica se presentan en el siguiente cuadro:

Sector	Tasa anual promedio	1990/1982 %
Industrial	3.74	34.2

Comercio y Servicios	3.55	32.2
Agrícola	3.27	29.4
Gobierno	3.15	28.1
Residencial	3.11	27.8

El escenario 2 supone precios constantes de los derivados de petróleo a sus valores de 1982 y lo mismo sucede con la energía eléctrica. Las ligeras variaciones que aparecen en los cuadros se deben a problemas de redondeo por la computadora durante el proceso de simulación.

Para un grupo de variables exógenas, como población, número de carros del metro, grado de urbanización, carros de ferrocarril, etc., se utilizaron proyecciones o datos existentes, que habían sido elaborados por las instituciones responsables de llevarlo a cabo. En otro grupo de variables exógenas, expresadas en unidades monetarias, básicamente se mantuvieron constantes en términos reales a su valor de 1982.

En cada uno de los estudios sobre la demanda de energía, se efectuaron varias estimaciones, de entre las cuales se seleccionaron las ecuaciones a incorporar en el modelo de simulación; las que finalmente lo integraron, fueron elegidas después de analizar los diversos resultados. En todos los casos las elasticidades-precio e ingreso son congruentes con las que se han obtenido en estudios para otros países, y en los casos que existen restricciones de oferta, ésta también se refleja en los resultados; ver estudios respectivos. En general los resultados indican que los precios tienen una influencia significativa sobre el consumo. Es tal vez en el caso del sector industrial donde se obtienen resultados menos espectaculares.

Por sectores consumidores, los resultados más sobresalientes son los siguientes: la elasticidad-precio de la electricidad en el sector industrial,  $-.8874$ , es un poco alta en relación a estudios internacionales; sin embargo, estadísticamente el modelo es bueno; por otra parte el modelo industrial de México, de Sepafin, es en esta ecuación donde se da una de las elasticidades-precio más elevadas.

La elasticidad-precio del gas L.P. no es significativa, reflejando la no existencia de sustitutos. Finalmente la elasticidad-ingreso de la kerosina resulta negativa, lo que es perfectamente congruente con su calidad de bien inferior.

En el sector transporte, la ecuación de demanda de electricidad corresponde básicamente a la del sistema de transporte colectivo de la ciudad de México y refleja la restricción de oferta existente. Las más importantes, por su participación dentro del consumo total de energéticos, son diesel y gasolinas automotrices; la elasticidad-precio del diesel en el modelo es de  $-.261$  en el corto plazo y  $-1.207$  en el largo plazo, los cuales son congruentes con la información existente para otros países. En cuanto a la demanda de gasolinas automotrices la elasticidad-precio de corto plazo

resulta de  $-0.1867$ , siendo que en otros países con modelos similares los valores caen dentro de un rango de  $-0.21$  a  $-0.73$ , es decir que la estimada para México es menor; ésta es consistente con el hecho de que hasta la fecha no ha habido sustitutos reales para el automóvil y por otro lado que los aumentos de precios no han sido lo suficientemente significativos como para tener un impacto considerable.

En el sector industrial el modelo utilizado para estimar la demanda de combustibles derivados del petróleo y electricidad, fue un sistema de ecuaciones de demanda del tipo translogarítmica de costos, la cual tiene la ventaja de que no impone restricciones de comportamiento, ni supone que las elasticidades sean constantes.

Los resultados muestran que la electricidad es el energético con demanda más enérgica (el rango de los valores estimados va de  $-0.075$  a  $-0.015$ ); le siguen en orden creciente el gas natural, el gas licuado y el combustible. Otro resultado interesante del estudio es que el gas natural y el combustible son sustitutos mientras que el gas licuado y la electricidad resultan complementarios, el combustible, por otra parte, se utiliza como complemento del gas licuado, pero es sustituto de la electricidad. En cuanto a pronósticos, el modelo parece muy sensible a las variaciones en precios relativos entre diversos energéticos. Es en este sector donde existe mayor incertidumbre respecto a la confiabilidad de los datos y definitivamente es necesario profundizar en su análisis. Por otra parte conviene revisar los supuestos de crecimiento utilizados en las variables exógenas.

### Algunos aspectos de la política energética en México

Antes de presentar los esfuerzos que en política energética se han dado en México en los últimos años, intentaremos describir brevemente cual ha sido la estructura administrativa del sector energético hasta fines de 1982.<sup>11</sup>

Los órganos principales que integraban el sector eran: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial,<sup>12</sup> virtual, que no necesariamente real, cabeza de sector con la Dirección General de Energía, la Comisión de

<sup>11</sup> Véase López Coello, R. Hermilo (1982), *Estructura administrativa funcional del sector energético en México*, mimeo, Oficina de Asesores del C. Presidente.

<sup>12</sup> La antigua Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial fue recientemente objeto de una reestructuración, a través de la cual se modificó su nombre por el de Secretaría de Energía, Minas e Industrial Paraestatal. Asimismo los diversos órganos que integran al sector energético como Pemex y CFE han sufrido algunas reestructuraciones administrativas a partir de diciembre de 1982.

Energéticos, la Comisión Nacional de Energía Atómica con Uranio Mexicano y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, la Comisión Federal de Electricidad con el Instituto de Investigaciones Eléctricas y Petróleos Mexicanos con el Instituto Mexicano del Petróleo. Asimismo la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, la cual depende del secretario de Patrimonio y Fomento Industrial.

Por sus atribuciones, la Dirección General de Energía llevaba a cabo tareas de análisis, registro y tramitación que se derivan del artículo 27 constitucional, realizaba estudios y proponía políticas y acciones tendientes a lograr la utilización eficiente de la energía y de nuevos sistemas energéticos. En otras palabras, constituía el órgano del cual debían emanar las políticas energéticas del país.

La Comisión de Energéticos estaba integrada por los secretarios de Patrimonio y Fomento Industrial, Hacienda y Crédito Público, Programación y Presupuesto, Comercio y Agricultura y Recursos Hidráulicos así como por los directores generales de Pemex, CFE y el presidente de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

La Comisión de Energéticos tenía por objeto estudiar y promover el mejor uso de los recursos energéticos en función de las necesidades a corto y a largo plazo que requiere el desarrollo social y económico del país. Constituía un órgano más del cual debían surgir propuestas acerca de las políticas energéticas del país.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) de acuerdo con la legislación entonces vigente, estudiaba e implementaba la planeación y el funcionamiento del sistema nacional eléctrico en todas sus fases, contando con su propio órgano de investigación: el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Petróleos Mexicanos no tenía atribuciones de planeación, excepto las propias de la empresa que es la única autorizada para explotar, explorar, refinar, transportar, almacenar, distribuir y vender de primera mano el petróleo, el gas y los productos que se obtengan de la refinación de éstos, incluyendo el gas artificial. Cuenta también con su propio centro de investigación: el Instituto Mexicano del Petróleo. En términos prácticos, Petróleos Mexicanos diseñaba las políticas energéticas en el campo de hidrocarburos del país.

Por último, la Comisión Nacional de Energía Atómica, con la ayuda del Instituto de Investigaciones Nucleares, limitaba su planeación a lineamientos y programas relativos al aprovechamiento de la energía nuclear del país.

Sin embargo, y lo más curioso tal vez, es que ni el secretario de Patrimonio y Fomento Industrial, ni el subsecretario de Minas y Energía contaban, de acuerdo a la legislación entonces vigente, con atribuciones para aprobar todas estas propuestas y establecer las políticas energéticas

o las políticas subsectoriales en lo referente a hidrocarburos, por un lado, y electricidad y energía nuclear, por otro. La virtual cabeza de sector no podía desempeñar su papel y aceptaba de hecho que cada empresa estatal energética tomara las políticas que considerara convenientes, sin que éstas estuvieran vinculadas ni encuadradas necesariamente en un marco nacional.

A pesar de lo anterior no todo ha sido negativo, Pemex ha hecho y logrado más que cualquier otra empresa petrolera estatal en su campo, y fuera de él, donde ha sido obligada a actuar. La CFE ha crecido a un ritmo sumamente rápido y sus mayores problemas, aparte de los financieros, los ha provocado este mismo crecimiento. La Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, aun con escasos recursos, produjo en 1981 el conocido Programa de Energía con metas a 1990 y proyecciones al año 2000.

El Programa de Energía, sin embargo, adolece de varias fallas. En primer término, forma parte del Plan Nacional de Desarrollo Industrial, como un submodelo del Modelo Industrial de México sobre cuyas fallas tanto han escrito varios autores. En segundo lugar, los escenarios macroeconómicos sobre los cuales se basaba, tales como crecimiento del PIB del 8% sostenido y de crecimiento real de precios internacionales del petróleo del 5 al 7% hasta el año 2000, se consideran actualmente irreales. Sin embargo, esto no es culpa del Programa que en otros muchos aspectos era objetivo y de gran calidad técnica. Tal vez, la mayor crítica sería lo vago de las medidas de precios internos a tomar, por un lado, y por otro que, aunque viéndose lo cercano de la pérdida de autosuficiencia petrolera no se plantearan alternativas y directrices firmes para el desarrollo de nuevas fuentes. Sobre este último punto los esfuerzos han sido tímidos por lo que se refiere a fuentes no convencionales, con trabajos encomiables del Instituto de Investigaciones Eléctricas y otros grupos académicos, y por otro lado presuntuosos y poco objetivos por lo que se refiere a la energía nuclear, punto este que el propio Programa se negaba a aceptar totalmente en sus proyecciones.

Los problemas existentes dentro del sector energético son en gran medida producto de un acelerado crecimiento del sector entre 1976 y 1981. En reuniones convocadas en 1982 durante la campaña electoral del actual Presidente de la República, licenciado Miguel de la Madrid, para discutir los problemas energéticos, dirigentes y expertos del sector mencionaron, entre otros, los siguientes problemas:<sup>13</sup>

Falta de aprovechamiento equilibrado de los distintos energéticos.  
Gran nivel de desperdicio incluyendo el propio sector.

<sup>13</sup> López Coello, R. Hermilo, *op. cit.*

- Situación crítica del sistema de distribución de productos petrolíferos.
- Falta de conocimientos de los recursos.
- Falta de investigación, pocos recursos y poca coordinación de la misma.
- Efectos negativos sociales, ecológicos y económicos en las regiones petroleras.
- Importante sesgo al consumo de hidrocarburos.
- Impedimentos para la cogeneración.
- Políticas de precios bajos que inducen al derroche y descapitalizan a las empresas, en especial CFE.
- Falta de experiencia en la comercialización internacional, y carencia de instalaciones adecuadas.
- Falta de coordinación entre las entidades del sector y exagerada centralización administrativa.
- Escasez de personal capacitado.
- Inexistente coordinación con el sector industrial tanto en consumos como en inversiones.
- Retrasos persistentes en los proyectos.
- Elevado endeudamiento externo.
- Carencia de políticas globales adecuadas que integren el desarrollo de los energéticos al resto de la economía.

Esta larga lista denota una situación que requiere atención inmediata y profundamente meditada.

No sería posible que en un trabajo de tan reducidas magnitudes como éste, se pudiera especificar detalladamente cual debiera ser la política energética mexicana. No obstante, en el curso de este estudio se ha analizado la información con que se cuenta, se ha propuesto un modelo y se han señalado en forma general los problemas energéticos que actualmente enfrenta el país. Quedaría inconcluso si no se mencionaran, aunque brevemente, algunos de los aspectos sobresalientes relativos a la política energética que deberá seguir nuestro país en el futuro.

El fenómeno de la petrolización ha sido evidente y brutal en México, y se ha pasado de considerar al petróleo como "el instrumento privilegiado del proceso de transformación estructural" al del "origen de nuestros males", siendo las dos posiciones en gran medida emotivas pero con fuerte dosis de razón. Es necesario ahora, evaluar el verdadero papel que este energético puede jugar en la economía mexicana.

El contar con petróleo es innegablemente una fortuna para México, lo cual le permite contar con diversas e importantes posibilidades para

su aprovechamiento.<sup>14</sup> Por un lado, es válido utilizarlo como apoyo al desarrollo industrial al ofrecerlo a precios internos inferiores a los internacionales, ayudando así a la planta industrial de nuestro país. No es prudente otorgar estos apoyos indiscriminadamente a toda la industria, ni otorgarlos a las ramas intensivas en su uso sin antes fijar metas obligatorias en cuanto a la eficiencia en su consumo.

Es válido utilizar este instrumento generador de riquezas como fuente de divisas y para ayudar a un crecimiento más armónico de nuestra economía y una mejor distribución del ingreso.

Es válido apoyarnos en nuestras reservas petroleras para diferir nuevas inversiones en fuentes de energía no convencionales. Es necesario evitar derroches del propio sector y elevar los precios de forma que se evite el despilfarro y se pueda prescindir temporalmente de inversiones costosísimas en refinación y plantas de potencia. Debemos evitar inversiones intensivas en capital y con tecnología originada en el extranjero.

Es absolutamente indispensable incrementar las inversiones en el campo de la investigación y el desarrollo de recursos humanos, ya que únicamente con capacidad tecnológica propia, podrá México en un futuro alcanzar sus anhelos de desarrollo económico.

Para todo lo anterior, será necesario coordinar y hacer congruentes todos los diferentes planes, y asegurar que la virtual cabeza de sector lo sea realmente, modificando o creando el marco legal e institucional necesario.

<sup>14</sup> Véase, Corredor E., Jaime (1982), *Algunas consideraciones sobre la política petrolera en México*, ICAP, México.

## LA POLÍTICA DE PRECIOS INTERNOS DE PRODUCTOS PETROLEROS EN MÉXICO, 1976-1982

*Raúl Gastélum*

Todos los esfuerzos realizados por PEMEX después de la expropiación de la industria petrolera en 1938 estuvieron dirigidos al cumplimiento de dos objetivos prioritarios marcados a la empresa por el Estado mexicano: la satisfacción prioritaria de la demanda interna y la puesta en práctica de precios bajos en la venta de productos petroleros y gas natural.<sup>1</sup> Con esto último PEMEX no sólo propició una mayor instalación de nuevas industrias y una ampliación sustancial del sistema de transportes lo cual sentaba las bases para el posterior desarrollo económico del país, sino que además estaba creando un importante mercado interno que garantizaba la expansión de la producción de la empresa petrolera y por ende su existencia, asegurando así el crecimiento de una industria estratégica tan importante, que había pasado definitivamente a manos del Estado. Es muy probable que con la continuación de la presencia de las anteriores compañías petroleras extranjeras en México no se hubiera creado tan rápidamente un mercado interno para los productos petrolíferos, debido al régimen de los precios internos altos que éstas practicaban.<sup>2</sup>

El bajo nivel de precios y la inmovilidad de éstos por largos periodos en la época postbélica han causado problemas muy serios para financiar la inversión, frente a una demanda de sus productos constantemente al alza en el contexto de un crecimiento económico sostenido del país. Estos obstáculos financieros han sido superados normalmente por la vía del financiamiento interno o externo y excepcionalmente a través del aumento de precios. El primer aumento general importante de precios fue efectuado en 1958 cuando la situación en las finanzas de la industria petrolera estatal era ya sumamente difícil. Después tuvieron que pasar 15 años para que volviera a realizarse en 1973 otro aumento cuando las condiciones de la empresa eran semejantes a la anterior pero además con la circunstancia agravante de que el equilibrio energético del país había sido roto, ya que

<sup>1</sup> Jean Pierre Angelier "Le secteur de l'énergie au Mexique". *Notes et Etudes Documentaires*, núms. 4523-4524, 20 de julio 1979, París, p. 117.

<sup>2</sup> Michael Tanzer, *The Political Economy of International Oil and the Underdeveloped Countries*, Temple Smith, Londres, 1970, p. 298.

las exportaciones de crudo y productos pesados que tradicionalmente se hacían para compensar las importaciones de productos ligeros resultaron insuficientes, llegando incluso a importarse crudo de Venezuela.

Cuando en diciembre de 1973<sup>3</sup> se aumentaron de nuevo los precios, el hecho de haberlos mantenido estables durante el largo periodo anterior se reflejó en un estancamiento del volumen de las reservas probadas por falta de inversiones en exploración y por otra parte en un insuficiente crecimiento de la capacidad de producción de refinados. El aumento de 1973, en el marco del primer "shock" petrolero internacional, revierte la situación financiera de PEMEX y la deja en condiciones para lanzar un programa de inversiones que dejaría sentadas las bases de lo que sería la industria petrolera mexicana después de 1976. Después hubo otro aumento de precios en octubre de 1974 que consistió en un incremento del impuesto federal,<sup>4</sup> reportándole nuevos ingresos únicamente al fisco; y luego otro más en noviembre de 1976, que fue explicado por las autoridades de la empresa como un medio para compensar el encarecimiento de las importaciones de PEMEX, originado por la devaluación del peso en agosto de ese año.<sup>5</sup> Este sería el último aumento de precios antes de un periodo de relativa estabilidad que duraría cuatro años hasta 1980.

La estabilidad en los precios de PEMEX en la segunda mitad de los setenta coincide con la etapa de mayor dinamismo de la industria petrolera mexicana, cuya política de producción estuvo orientada primordialmente hacia la exportación de crudos. En ese marco, los ingresos provenientes de la exportación y el endeudamiento, principalmente externo, aprovisionaron a la empresa de los recursos necesarios para invertir en la instrumentación de la infraestructura exportadora, y además en la ampliación de su capacidad industrial de refinados y petroquímicos y en la extensión de su red comercial con objetivos centrados en el mercado interno.<sup>6</sup> Estos fines han sido logrados sin necesidad de elevar los precios internos de los productos petroleros. Como el gobierno federal también estuvo recibiendo ingresos provenientes del impuesto aplicado a las exportaciones petroleras y contrataba empréstitos en el exterior, tampoco se consideró necesario aumentar sus ingresos mediante la elevación, vía impuesto federal, de los precios de los productos petroleros.

Si bien la estabilización de los precios en este periodo no generó obstáculos financieros insalvables tanto en PEMEX como en el gobierno federal,

<sup>3</sup> *Excélsior*, diciembre 8, 1973.

<sup>4</sup> Antonio J. Bermúdez, *La política petrolera mexicana*, Joaquín Mortiz, México, 1976, p. 83.

<sup>5</sup> *El Sol de México*, noviembre 15, 1976.

<sup>6</sup> E. Barriga Guzmán, "Relative Oil Prices and Oil Pricing Policy in México", agosto 1981; elaborado para la Conferencia de la Asociación Económica Internacional, septiembre de 1981, p. 28.

no se puede decir lo mismo en cuanto a las repercusiones que sobre el consumo tuvo la política de precios, que en términos reales seguían bajando. Así vemos que en el periodo 1975-1980 el consumo final de hidrocarburos en México creció a un ritmo de 40 por ciento superior al del producto interno bruto, mientras que en el periodo 1970-1975 sólo lo había superado en 20 por ciento. Esta expansión acelerada del consumo final de hidrocarburos entre 1975 y 1980 estuvo acompañada de un incremento del 2.0 por ciento anual en el consumo final de energía por unidad de producto, superior al 1.3 por ciento anual a que creció en el periodo anterior, y por un ascenso del 6.5 por ciento anual en el consumo de energía primaria *per capita*, mayor al de 3.7 por ciento anual del periodo 1970-1975. Es ilustrador también señalar que la elasticidad-producto del consumo primario de hidrocarburos fue de 1.7 a fines de los setenta, en comparación con la de 1.4 que tuvo en el consumo final antes. Estos datos reflejan un crecimiento demasiado rápido en el consumo del sector energético, lo cual indica un aumento en la ineficiencia de su propio consumo de energía.<sup>7</sup>

La política de precios estables dio como resultado que los precios reales de los productos de PEMEX se deterioraran significativamente, constituyendo esto un factor que influyó de manera importante a que se disparara el consumo de productos petroleros. Bajo esas condiciones, las ventas internas de PEMEX se elevaron fuertemente en todos sus productos entre 1976 y 1980: la venta de petrolíferos aumentó en 8.4 por ciento anual pasando de 256 a 354 millones de barriles anuales, la de petroquímicos en 12.4 por ciento y la de gas natural en 10.8 por ciento anual. A nivel de productos, el crecimiento anual en las ventas de algunos de ellos fue de 11.1 por ciento para las gasolinas, 7.1 por ciento para el diesel, 12.9 por ciento en el gas licuado y 5.6 por ciento para el combustóleo.<sup>8</sup>

Vemos así que la política de precios mantenida entre 1976 y 1980 vino a fomentar el crecimiento desmedido del consumo final de hidrocarburos, lo cual se reflejaría en una disminución sustancial de la productividad energética del sistema consumidor y, por otra parte, en un aumento de los requerimientos de inversión de PEMEX con objeto de ampliar su capacidad de producción de refinados y petroquímicos, lo cual no era tal vez la mejor alternativa de inversión para el país, en relación a otros requerimientos prioritarios de la economía.

El periodo de estabilización en los precios de PEMEX terminó el 21 de noviembre de 1980 cuando la gasolina *Extra* de 94 octanos aumentó de 4.00 a 7.00 pesos el litro; el gas licuado aumentó de 2.40 el kg. hasta llegar a 4.30 en 10 meses y el combustóleo y el gas natural tuvieron un aumento del 2.5 por ciento mensual.<sup>9</sup> El aumento a la gasolina *Extra*

<sup>7</sup> *Energéticos*, noviembre de 1981.

<sup>8</sup> PEMEX, *Anuario Estadístico 1981*.

<sup>9</sup> *Uno más Uno*, noviembre 22 de 1980.

tenía el objetivo de disminuir el consumo de los norteamericanos en la zona fronteriza y de reducir los subsidios que estos consumidores estaban recibiendo al comprar del lado mexicano. El precio promedio de esa gasolina era de 7.90 pesos en Estados Unidos, por lo que con el nuevo precio de 7.00 pesos en México podría lograrse que disminuyera su consumo en la frontera. Respecto al gas y el combustóleo, explicaron las autoridades de PEMEX, que los aumentos buscaban racionalizar el consumo particularmente en el centro y norte del país, así como lograr establecer un precio único.<sup>10</sup> Hay que destacar que el director general de la empresa explicó en esa ocasión que el aumento en los precios fue una medida fiscal que beneficiaría exclusivamente a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y en nada a la empresa petrolera.<sup>11</sup>

Aunque la medida de aumentar los precios no fue general en cuanto que no incluyó a varios productos, fue importante porque rompió la inercia en los precios reiniciada en noviembre de 1976. Ante la inminencia de este aumento y después de un largo periodo de estabilidad, las reacciones anticipadas de la opinión pública fueron muy variadas. La Confederación de Trabajadores de México era favorable al aumento; había discrepancia entre los empresarios ya que según unos mejoraría la situación de la economía y según otros la medida repercutiría demasiado en los costos; los diputados del Partido de Acción Nacional y de la Coalición de Izquierda rechazaban el aumento, en tanto que el director general de PEMEX señalaba que la solidez de la empresa petrolera permitía afrontar el mantenimiento de los precios.<sup>12</sup>

Un año después, el 21 de diciembre de 1981, se efectuó un nuevo aumento en algunos productos, también en medio de reacciones públicas muy encontradas. Las gasolinas *Nova* y *Extra* aumentaron de 2.80 y 7.00 pesos a 6.00 y 10.00 pesos respectivamente; y el diesel de 1.00 a 2.50 pesos. Con estos aumentos los precios reales de esos productos apenas se recuperaban en relación a 1973, quedando ahora con unos índices de 0.84 y 0.95 en las gasolinas *Nova* y *Extra* respectivamente y de 0.96 en el diesel.

El secretario de Patrimonio y Fomento Industrial y el director general de PEMEX declararon que este nuevo ajuste a los precios de las gasolinas y el diesel estaba enmarcado en toda una política de racionalización energética y de disminución de los subsidios otorgados por PEMEX vía bajos precios, los cuales ascendían ya a 300 000 millones de pesos anuales,<sup>13</sup> de los cuales más de la mitad correspondían a diesel y gasolinas.<sup>14</sup>

<sup>10</sup> *Excélsior*, noviembre 23 de 1980.

<sup>11</sup> *Uno más Uno*, noviembre 25 de 1980.

<sup>12</sup> Véase: *Excélsior*, septiembre 13, 1980; *Uno más Uno*, septiembre 19, 1980; *Uno más Uno*, noviembre 18, 1980 y *Excélsior*, noviembre 18, 1980.

<sup>13</sup> Aprox. 12 000 millones de dólares al tipo de cambio de esa fecha.

<sup>14</sup> *El Día*, diciembre 22 de 1981.

Es importante precisar que este aumento en los precios de 1981 tuvo lugar a finales de un año crítico para la economía mexicana y para PEMEX, debido a la disminución que se registró en las exportaciones de crudo mexicano a mediados de ese año y a la disminución en su precio de exportación, que tuvo que ajustarse a las tendencias dominantes en el mercado petrolero internacional. De ahí que sea posible estimar que entre las razones principales que motivaron este nuevo ajuste en los precios, estaba el propósito de dotar de recursos financieros adicionales tanto a PEMEX como al gobierno federal, para ayudarlos a resolver en parte sus problemas de liquidez. Por otra parte existen las pruebas de que tal aumento favoreció principalmente al fisco, al menos en las gasolinas, ya que mientras en el anterior precio de la gasolina *Nova* el impuesto federal representaba el 33.2% en el nuevo pasó a ser 68.9%, en tanto que en la gasolina *Extra* pasó de 61.8% a 73.3%. Como resultado de eso la participación de PEMEX en el precio de la gasolina *Nova* que era de 1.66 pesos el litro antes del aumento, pasó a ser de 1.54; y en la *Extra* también disminuyó, de 2.42 a 2.31 pesos.<sup>15</sup> La mayoría de los aumentos pasaron así a incrementar los ingresos del gobierno federal quedándole quizá a PEMEX sólo el aumento aplicado al diesel.

En 1981 la expansión de la demanda de productos petroleros continuó siendo alta: las ventas de gasolinas crecieron en 13.6%; las de diesel 8%; las de gas licuado en 10.5% y se desaceleró solamente la demanda de combustóleo y gas natural que aumentó en 2.4% y 2.8% respectivamente.<sup>16</sup> Es notable que la demanda de gasolinas y diesel era la que presionaba más fuerte sobre la producción de PEMEX. Lo anterior no era sino el resultado acumulado de la política de precios practicada entre 1976 y 1980. Con el aumento de diciembre de 1981 no disminuyó la presión de la demanda por esos productos, llegando incluso a superar las posibilidades de producción de PEMEX, la cual se vio necesitada de enviar a maquilar al exterior una cantidad de 91 mil barriles diarios de destilados entre el 1o. de enero y el 31 de mayo de 1982.<sup>17</sup>

En un contexto caracterizado por un fuerte crecimiento de la demanda de petrolíferos y de profundización de la crisis económica del país, aunado a la grave crisis financiera por la que atravesaba el sector público, se efectuó un nuevo aumento a los productos petroleros el 1o. de agosto de 1982, pasando la gasolina *Nova* de 6 a 10 pesos, la *Extra* de 10 a 15 pesos el litro, el diesel de 2.50 a 4 pesos y el gas doméstico licuado de 4.30 a 5.10 pesos el kilogramo más un incremento mensual de 10 centavos el kg. durante 12 meses.

Este nuevo aumento en los precios, que fue acompañado de un alza

<sup>15</sup> *Energy Détente*, volumen 111, núm. 2, 2 de febrero de 1982. p. 6

<sup>16</sup> PEMEX, *Anuario Estadístico 1981*.

<sup>17</sup> *Uno más Uno*, julio 26 de 1982.

del 30 por ciento en el precio de la energía eléctrica, estuvo dirigido principalmente otra vez a aumentar los ingresos del gobierno federal a través de un nuevo impuesto al consumo de gasolinas. El director general de PEMEX declaró que la empresa no recibía ningún ingreso adicional con el incremento a las gasolinas y que continuaría recibiendo los mismos 1.43 pesos por cada litro de gasolina *Nova* que se vendiera a un precio de 10 pesos.<sup>18</sup>

No pasaría mucho tiempo para que se realizara otro nuevo aumento en los precios. El 2 de diciembre de 1982, el precio de la gasolina *Nova* aumentó a 20 pesos el litro; el de la *Extra* a 30 pesos el litro; el del diesel a 10 pesos el litro, el del gas licuado a 7 pesos el kg., el del combustóleo a 1.16 pesos el litro, el del gas natural para uso doméstico aumentó a 1.60 pesos metro cúbico y el del gas natural para uso industrial a 1.71 pesos metro cúbico. En petroquímicos, los incrementos fueron entre 50 y 75%, y los precios de otros productos petrolíferos aumentaron en promedio entre 50 y 100 por ciento. Este aumento en los precios realizado ya por la nueva administración obedeció al propósito de frenar la tendencia desproporcionada que se observa en el consumo de combustibles en México según declaró el nuevo secretario de Comercio.<sup>19</sup> Sin embargo, parece ser que el objetivo principal era de nuevo proporcionar más ingresos a la federación para reducir su déficit presupuestario, ya que según declaraciones de concesionarios de gasolineras en el norte del país, del nuevo precio de 20 pesos de la gasolina *Nova*, sólo le corresponderán a PEMEX 1.49 pesos; al impuesto especial le corresponden 16.31 pesos y el resto representa comisiones e impuestos sobre el valor agregado.<sup>20</sup> De ser confirmada oficialmente esta última versión, tendríamos entonces que los aumentos en los precios de diciembre de 1982, se ajustan a dos de los postulados anunciados por la nueva administración, incluidos en la Carta de Intenciones firmada con el FMI: disminuir el déficit del presupuesto federal y eliminar los subsidios de las empresas del sector público al resto de la economía.

Si recordamos los índices de precios reales de las gasolinas *Nova* y *Extra* y el diesel después del aumento del 21 de diciembre de 1981, con el cual sus valores reales se recuperaron en relación a 1973, y tomamos en cuenta que de esa fecha al 2 de diciembre de 1982 la gasolina *Nova* aumentó de 6 a 20 pesos, la *Extra* de 10 a 30 pesos y el diesel de 2.50 a 10 pesos, vemos entonces que el precio real de esos productos ha aumentado sustancialmente en un año, una vez descontada la inflación estimada para 1982 en cerca de 100 por ciento. Lo anterior nos lleva a deducir que

<sup>18</sup> *Excélsior*, agosto 22 de 1982.

<sup>19</sup> *El Día*, diciembre 3 de 1982.

<sup>20</sup> *El Día*, diciembre 9 de 1982.

las últimas medidas tomadas en materia de precios para los productos petroleros pueden estar persiguiendo efectivamente el fin de disminuir el consumo de éstos, encuadrándolo dentro de criterios de mayor racionalidad, aunque aún no queda muy claro el impacto inflacionario que podrán tener estos aumentos.

Por otra parte, parece evidente que la política de precios de PEMEX tal como se ha orientado últimamente, sigue siendo sesgada hacia la generación de nuevos ingresos para el gobierno federal, con el fin de que éste se ayude a equilibrar su presupuesto. Un aspecto positivo de esta política fiscal es que el Estado obtendrá mayores impuestos del 30% de los hogares de más alto ingreso que además consumen el 93% de la gasolina vendida a particulares,<sup>21</sup> para eventualmente distribuirlos a los estratos de más bajos ingresos a través de nuevos servicios, empleos y subsidios a bienes de consumo básico.

También puede observarse que la política de precios internos seguida últimamente por PEMEX, no constituye propiamente el instrumento financiero de la empresa ya que —como se ha dicho antes— los últimos aumentos de precios han sido prácticamente destinados a la federación. En tales circunstancias, podría pensarse que la empresa confía en que sus ingresos por exportación serán suficientes para realizar las nuevas inversiones que requiera la expansión de su capacidad de producción de refinados y petroquímicos, a pesar de contar la empresa con una deuda externa contraída de 24.8 mil millones de dólares<sup>22</sup> y de estar sujeta a los aumentos en sus costos de operación y en los precios de los insumos nacionales, los cuales van de la mano con la inflación general que padece el país. La validez de lo anterior, tendría que ser objeto de un análisis más detallado.

En conclusión, puede decirse que la política de precios internos de PEMEX tal como ha sido orientada en 1982, ha ido dirigida hacia la disminución y la racionalización del consumo de productos petroleros y la provisión de mayores ingresos al gobierno federal. Esta política tiende a perder importancia como instrumento para financiar la inversión del sector petrolero, cediendo gradualmente su lugar a los ingresos por exportación y posiblemente al nuevo endeudamiento externo del mismo sector.

<sup>21</sup> *Boletín Energéticos*, enero de 1982, p. 12.

<sup>22</sup> *Excelsior*, agosto 3 de 1982.

## Cuadro 1

## México: Precios de venta al público de algunos productos petroleros y gas natural (pesos)

	Nova	Extra	Diesel	Diáfano doméstico	Gas LP (kg.)	Combustóleo pesado	Industrial	Gas natural Doméstico
1973	1.40	2.00	0.50	0.35	0.85	117.05	0.14	0.14
1974	1.40	2.00	0.50	0.35	2.05	200.00	0.18	0.70
1975	2.10	3.00	0.50	0.35	2.08	200.00	0.18	0.70
1976	2.10	3.00	0.50	0.55	2.28	200.00	0.18	0.70
1977	2.80	4.00	0.65	0.55	2.40	260.00	0.26	0.77
1978	2.80	4.00	0.65	0.55	2.40	260.00	0.26	0.77
1979	2.80	4.00	1.00	0.55	2.40	283.33	0.28*	1.21
1980 <sup>a</sup>	2.80	7.00	1.00	0.55	2.50	345.00	0.28*	1.21
1981 <sup>b</sup>	6.00	10.00	2.50	0.55	3.15*	447.58	0.45*	1.21
1982 <sup>c</sup>	10.00	15.00	4.00	--	4.30	--	--	--
1982 <sup>d</sup>	20.00	30.00	10.00	...	7.00	1 160.00	1.71	1.60

<sup>a</sup> Precios a partir del 21 de noviembre de 1980.

<sup>b</sup> Precios a partir del 21 de diciembre de 1981.

<sup>c</sup> Precios a partir del 1o. de agosto de 1982.

<sup>d</sup> Precios a partir del 2 de diciembre de 1982.

\*Promedio del año.

Fuente: Anuario estadístico de PEMEX, 1981. Varios números de la prensa nacional.

## Cuadro 2

México: Precios reales e índices de precios reales (a precios de 1973)  
(en pesos)

	Gasolina		Extra		Diesel		Diáfano doméstico		Gas LP		Combustóleo pesado		Industrial		Gas natural	
	Nova (1) (1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(kg.)	(m <sup>3</sup> )				
	PR	IR	PR	IR	PR	IR	PR	IR	PR	IR	PR	IR	PR	IR	PR	IR
1973	1.40	100.0	2.00	100.0	0.50	100.0	0.35	100.0	0.85	100.0	117.05	100.0	0.14	100.0	0.14	100.0
1974	1.14	81.4	1.63	81.5	0.41	82.0	0.29	82.9	1.68	197.6	163.50	139.7	0.15	107.1	0.57	407.1
1975	1.47	105.0	2.10	105.0	0.35	70.0	0.24	68.6	1.46	171.8	140.00	119.6	0.13	92.9	0.49	350.0
1976	1.27	90.7	1.81	90.5	0.30	60.0	0.33	94.3	1.37	161.2	120.60	103.0	0.11	78.6	0.42	300.0
1977	1.34	95.7	1.91	95.5	0.31	62.0	0.26	74.3	1.15	135.3	124.00	105.9	0.12	85.7	0.37	264.3
1978	1.14	81.4	1.63	81.5	0.27	54.0	0.22	62.9	0.98	115.3	106.08	90.6	0.11	78.6	0.31	221.4
1979	0.97	69.3	1.39	69.5	0.35	70.0	0.19	54.3	0.83	97.6	98.14	83.8	0.14	71.4	0.42	300.0
1980 <sup>a</sup>	0.71	50.7	1.78	89.0	0.25	50.0	0.14	40.0	0.65	76.5	87.58	74.8	0.09	64.3	0.31	221.4
1981 <sup>b</sup>	1.14	81.4	1.90	95.0	0.48	96.0	0.10	28.6	0.60	70.6	85.09	72.7	0.09	64.3	0.23	164.3
1982 <sup>c</sup>	1.37	97.9	2.06	103.0	0.55	111.0	nd	nd	0.59	69.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1982 <sup>d**</sup>	2.04	145.7	3.06	153.0	1.02	204.0	nd	nd	0.71	83.5	118.3	101.1	0.17	121.4	0.16	114.3

<sup>a</sup> A partir del 21 de noviembre de 1980.<sup>b</sup> A partir del 21 de diciembre de 1981.<sup>c</sup> A partir del 1o. de agosto de 1982.<sup>d</sup> A partir del 2 de diciembre de 1982.

\* Deflactados por el índice general de precios al consumidor de la ciudad de México.

\*\* Estimaciones.

(1) PR=precios reales.

(2) IR=índice de precios reales.



## Segunda parte



## LA EXPLOTACIÓN DEL GAS NATURAL

*Adrián Lajous*

México ocupa una posición privilegiada entre los grandes países en vía de desarrollo: una enorme dotación de recursos energéticos se encuentra en explotación dentro del marco de una estructura económica diversificada cuyas tasas de crecimiento son históricamente muy elevadas. De 1950 a 1980 el Producto Interno Bruto (PIB) creció a una tasa media anual de 6.5%. Durante este periodo la participación de los productos manufacturados no petroleros en el PIB aumentó de 19% a 25% y la participación en el empleo del sector manufacturero se expandió de 12% a 20%. La economía mexicana ha experimentado recientemente un crecimiento muy rápido debido, en parte, a la gran afluencia de ingresos por concepto del petróleo. En los últimos cuatro años el PIB aumentó en un 8.5% al año, la industria creció un 9.6%, y la inversión en términos reales 18%.

La utilización del gas natural sólo puede ser comprendida dentro del contexto de las dimensiones y el crecimiento de la industria manufacturera. Actualmente, México constituye la décima economía de mercado en términos del PIB correspondiente a su industria manufacturera. Por su tamaño absoluto, este sector es mayor que el de Holanda, Suecia, Bélgica, Dinamarca o Noruega. La industria mexicana es 14 veces mayor que la de Singapur, 11 veces la de Chile, 5 veces la de Corea del Sur y dos veces la de Argentina y la India. Lo que es también notable en estas comparaciones es que este nivel de desarrollo industrial haya sido alcanzado en sólo tres décadas.

El gas natural desempeña un papel central en el balance energético de México. En 1981 representó la quinta parte del total de la utilización primaria de energéticos, participación equivalente a la de los países industrializados en conjunto. Entre 1977 y 1981, la producción bruta de gas natural se duplicó alcanzando un nivel de 4 mil millones de pies cúbicos diarios (42 mil millones de metros cúbicos al año), de los cuales el gas asociado representó el 75%. El consumo de este hidrocarburo está concentrado en el sector manufacturero y en la misma industria petrolera. En 1981 Pemex, utilizó mil doscientos millones de pies cúbicos diarios (13 mil millones de metros cúbicos al año) y vendió mil millones de pies cúbicos

diarios (11 mil millones de metros cúbicos al año) a la industria. Estas dos cifras constituyen las tres cuartas partes de la disponibilidad neta total. Por otra parte, 45% del consumo final de energéticos de la industria es cubierto por el gas natural. La importancia del gas trasciende su valor calorífico: es difícil de sustituir como fuente de energía en un gran número de procesos y constituye una materia prima básica en algunas ramas estratégicas de la industria mexicana.

Para marzo de 1982, las reservas probadas de gas natural ascendían a 75 billones de pies cúbicos (2.1 billones de metros cúbicos), lo que equivale al 21% del total de reservas de hidrocarburos. La relación reservas/producción era equivalente a 51 años y, si se excluyen las reservas de la Cuenca de Chicontepec, esta proporción disminuye a 33 años. Debe advertirse el hecho de que la proporción entre las reservas de petróleo y su producción es un tanto más elevada, dando en promedio 57 años.

La experiencia más reciente ha demostrado que el sistema de gas natural de México es más flexible de lo que pudo considerarse originalmente. Por el lado de la demanda, el mercado interno ha llegado a absorber todo el gas disponible. Durante los últimos cinco años, el propio consumo de gas por Pemex aumentó a una tasa media anual de 20%, en tanto que la tasa de crecimiento del total de ventas a la industria fue en promedio de 10%, a pesar de las restricciones de la oferta en 1981. La posibilidad de un incremento sustancial en la utilización del gas natural para generar electricidad continúa latente. Esta demanda potencial podría rápidamente llegar a ser efectiva, ya que la mayor parte de las centrales eléctricas más importantes están equipadas con quemadores duales, capaces de utilizar combustible o gas natural. Podemos concluir que a los precios nacionales actuales, la demanda excede, con mucho, a la oferta disponible.

Por el lado de la oferta, la flexibilidad del sistema proviene, en primer lugar, del margen en que los yacimientos de gas no asociado permiten aumentar los niveles de producción. En segunda instancia, en el caso de la escasez del gas asociado, también es posible variar la producción de gas relacionada con cierta producción de petróleo, teniendo en cuenta las grandes diferencias que existen en la relación gas/petróleo de los yacimientos de tierra firme, y entre éstos y las zonas mar adentro en la bahía de Campeche. De esta manera, las variaciones en el origen geográfico de la producción del crudo pueden afectar en forma importante el volumen total del gas asociado que se produce. Un ejemplo basta para ilustrar este punto. El yacimiento de Agave en el área de Reforma produce 50 mil barriles diarios de crudo ligero y 450 millones de pies cúbicos diarios de gas natural, es decir, una relación gas/petróleo de 9 000 pies cúbicos por barril de petróleo. Por otra parte, el promedio de la relación gas/petróleo en el yacimiento de Cantarell, frente a la costa de Campeche, es veinte veces menor.

Otra fuente importante de flexibilidad puede encontrarse en el tamaño y extensión del sistema de gasoductos que comunica las instalaciones de producción y procesamiento con las principales zonas consumidoras del país y con la frontera de Estados Unidos. Actualmente, el sistema de transporte por gasoductos tiene una extensión de 11 270 kilómetros, proporcionando servicio a todas las grandes ciudades y a los principales puertos industriales. Los últimos años han sido testigos de un drástico cambio de opinión, tanto en el país como en el extranjero, respecto al volumen real del excedente de gas disponible para exportación, y el papel que éste debería desempeñar en relación con el sistema de gas natural en México. Habiendo partido de una posición en que la exportación en grandes cantidades parecía ser la única alternativa que se presentaba frente a la quema del gas natural, el criterio que ha prevalecido ha sido que la exportación no debería desempeñar sino un papel marginal, dando prioridad a su uso interno. Recientemente se encontró que de continuar el modelo y la tasa de crecimiento actuales de la demanda interna, no será posible incrementar las exportaciones durante 1982, 1983 y, probablemente, 1984.

La quema de gas natural en México es el resultado de una planeación inadecuada y de la falta de coordinación de los programas de inversión en las instalaciones de producción de crudo, así como en los sistemas de recolección, procesamiento y transporte. Durante los últimos cinco años (1977-1981) la expansión de estos sistemas ha sido particularmente desequilibrada, habiendo aparecido importantes cuellos de botella. La construcción de la infraestructura para el aprovechamiento del gas natural ha quedado rezagada en relación con la producción de petróleo, reflejando la alta prioridad concedida a la rápida estructuración de la exportación del crudo. Refleja también un interés insuficiente en la venta de gas natural en el país, debido en parte a los bajos precios internos, los que, en algunas zonas, eran más bajos aún que el costo de transporte del gas. Puede entenderse fácilmente que coordinar los programas de inversión de petróleo y gas no ha sido tarea fácil, teniendo en cuenta el rápido ritmo al que se desarrollaron los yacimientos en el mar de Campeche donde por primera vez se produjo petróleo a mediados de 1979, y cuya producción en 1981/82 es de 1.6 millones de barriles diarios (86.6 millones de toneladas al año).

Los análisis estadísticos detallados confirman que la quema del gas no ha sido el resultado de una demanda interna inadecuada. Las estimaciones a mediano y largo plazo indican que la demanda interna puede absorber todo el gas producido dentro de un amplio rango de diferentes posibilidades. Estos estudios concluyen categóricamente que la opción nunca fue —como tampoco lo es ahora— exportar el gas o quemarlo. Este falso dilema resultó muy engañoso. Las opciones de una política adecuada y coherente deben tener en cuenta los incrementos en el consumo interno,

la posibilidad de dejar de producir cantidades importantes de gas no asociado, así como el aumento de exportaciones de gas asociado. La naturaleza de estas opciones confiere a México una sólida posición en las negociaciones respecto a las exportaciones de gas.

La existencia de una gran variedad de usos alternativos para el gas natural de México incrementa el valor de este recurso. Las decisiones que se tomen respecto a las inversiones que han de hacerse en las actividades y procesos intensivos en el uso de energía deben tener en cuenta el costo de oportunidad del gas. Los proyectos de exportación, así como la fijación de los precios de exportación deberían considerar seriamente los usos del gas dentro del país. Deberán explorarse las implicaciones habidas en los diferentes patrones de consumo intertemporal. En estas condiciones, el diseño de una política y la toma de decisiones se vuelven más complejos. Por esta razón la enorme y diversificada dotación de recursos energéticos de México plantea problemas de un interés muy particular.

### **Exportaciones de gas**

A nivel mundial, México es un importante productor de gas natural, a pesar de ser un participante menor en su comercio internacional. El tamaño y el rápido crecimiento de su mercado interno han limitado la cantidad disponible para exportaciones. No obstante, el potencial de exportación de México es ampliamente reconocido debido a su enorme base de recursos, a sus amplias posibilidades de sustitución de combustibles, a la capacidad mal aprovechada de su gasoducto al norte del país, y a su contigüidad con el mayor mercado de gas natural del mundo.

Hace cinco años la posibilidad de que México se convirtiera en un exportador en gran escala parecía inminente, cuando Pemex negociaba un contrato de exportación de 2 mil millones de pies cúbicos diarios (20 mil setecientos millones de metros cúbicos). Estas negociaciones fueron particularmente complejas, e implicaban difíciles problemas de índole no comercial. Comenzaron a principios de 1977 y concluyeron en octubre de 1979 con la firma de un contrato por sólo 300 millones de pies cúbicos diarios. Las negociaciones entre Pemex y Border Gas, el consorcio norteamericano, dieron lugar a pláticas entre los gobiernos, y el problema del comercio del gas natural se convirtió en un punto clave en las relaciones entre Estados Unidos y México. En ambos países tuvo lugar un intenso debate respecto a la exportación del gas mexicano. En Estados Unidos, estas negociaciones coincidieron con la discusión, adopción e implementación inicial de la Ley de la Política sobre el Gas Natural (Natural Gas Policy Act), así como

de otras leyes que afectaron directamente los mercados del gas natural. En México, el problema de la exportación del gas dio origen a un acalorado debate de grandes alcances sobre aspectos tales como el papel que desempeñan las exportaciones de petróleo y gas en el desarrollo a largo plazo y en la administración económica a corto plazo, la estrategia de expansión de la industria petrolera y la naturaleza de las relaciones bilaterales entre los dos países, así como los problemas técnicos y económicos específicos en relación con la construcción del gasoducto que llevaría el gas hasta la frontera con Estados Unidos. La historia de estas negociaciones ha sido documentada en su mayor parte por autores norteamericanos, y el tratamiento que se ha dado a la interacción que existe entre los mercados internos y los de exportación ha sido inadecuado, y las más de las veces equivocado. Esto ha demostrado ser una importante limitación en el análisis del proceso de negociación y su resultado.

Durante 1981, México exportó 288 millones de pies cúbicos diarios de gas natural con el valor de 53 millones de dólares. El precio de exportación actual, al igual que el canadiense, es de 4.94 dólares por millón de BTU. A corto plazo, no es posible aumentar la exportación de gas natural. La línea principal que comunica con el norte de México no puede transportar mayor volumen de gas hasta que no se amplíe su capacidad compresora a fines del tercero y durante el cuarto trimestre de 1982. Sin embargo, hay una segunda restricción a mayor plazo en relación con la exportación del gas natural: las instalaciones para el procesamiento del gas en las zonas productoras del sur del país están operando a su máxima capacidad y su expansión no será posible antes de 1984, cuando estén en funcionamiento dos nuevas plantas criogénicas con una capacidad de 500 millones de pies cúbicos al día. Hasta esa fecha, la única manera de aumentar el excedente de gas para exportación sería restringir el consumo interno utilizando medidas eficaces que promuevan la sustitución del gas natural por combustóleo. Los programas de sustitución tendrían que concentrarse inicialmente en la propia industria petrolera, así como en otros consumidores importantes del sector público cuyas instalaciones cuenten con quemadores dobles. A más largo plazo, sería necesario extender estos esfuerzos al resto de la industria. Esto presupone un cambio drástico en los precios relativos del gas natural y del combustóleo pesado. Desafortunadamente es difícil pronosticar a qué ritmo se llevaría a cabo realmente la sustitución de estos dos combustibles.

La expansión a largo plazo de las exportaciones de gas natural de México requerirá de incentivos adecuados. Teniendo en cuenta los usos alternativos del gas natural dentro del país, un mercado interno de energéticos en rápida expansión, y la posibilidad de satisfacer los requerimientos de divisas por medio de las exportaciones de petróleo, el precio autorizado del gas mexicano podría no ser compatible con los principios de fijación

de precios que refieren este hidrocarburo al combustóleo residual. Desde el punto de vista de México, las principales razones son:

- i) Dentro del país, el gas natural sustituye directamente no sólo al combustóleo, sino también al diesel, al GLP, e indirectamente, a otros combustibles.
- ii) Sustituye también al crudo. Al mejorar la calidad de las refinerías, se reducen los requerimientos generales de crudo del país. Con base en la BTU, mientras mayor sea la diferencia de precios entre el crudo y el gas, mayores serán los incentivos para invertir en las refinerías.
- iii) A un determinado precio, los grandes consumidores industriales no son indiferentes entre el gas y el combustible residual. Los costos de mantenimiento, almacenamiento e inventario aumentan cuando se quema el combustóleo; las externalidades también deben considerarse.
- iv) Los convenios bilaterales relacionados con la oferta de gas son necesariamente más rígidos que los del petróleo. Son también más vulnerables, ya que las exportaciones de gas mexicano abastecen a un sólo mercado muy bien reglamentado.

### Productos petroquímicos

Pemex es el mayor consumidor de gas natural en México. La compañía petrolera nacional utiliza este hidrocarburo como combustible en sus yacimientos, ductos, refinerías, para generar energía y, cada vez más, como materia prima en la producción de la petroquímica básica. Es interesante advertir que el consumo de gas de Pemex creció a una tasa media anual de 20% durante los últimos 5 años, en tanto que el uso del crudo pesado aumentó únicamente a razón de 1% por año. Se han hecho cálculos recientes que indican que a la producción de la petroquímica básica corresponde 9% del uso total de hidrocarburos en México. En 1982 habrán de producirse 12 millones de toneladas de 42 productos petroquímicos básicos en 97 plantas. Esta producción representa el 85% del total de los requerimientos del país. Aunque el nivel general de autosuficiencia aumentará a lo largo de los próximos años, este proceso se tornará más selectivo, y se hará frente a los déficit de algunos productos específicos mediante convenios de procesamiento y de intercambio.

Las actividades de uso más intensivo de gas natural en Pemex son las relacionadas con la producción de amoníaco y metanol. En 1981 la producción de amoníaco alcanzó los 2.2 millones de toneladas, 35% de la cual se exportó. Tanto la producción como la exportación deberían incrementar-

se significativamente, ya que dos plantas de 445 mil toneladas entraron en funcionamiento el año pasado. Es bien sabido que, al precio actual del amoníaco, las ganancias netas (*net-back*) correspondientes al gas utilizado en la producción para exportación del amoníaco son extremadamente bajas. Así, parece razonable que la construcción de dos plantas más de 445 mil toneladas, que se encuentran ahora en su etapa de organización, deba vincularse directamente con el incremento de la capacidad de producción de urea. Los objetivos de esta política son: alcanzar la autosuficiencia en productos fertilizantes, reducir gradualmente la exportación de productos intermedios, y desarrollar una capacidad de exportación de fertilizantes de alta calidad.

El nivel de la producción del metanol es mucho más modesto. El año pasado se produjeron 180 mil toneladas y la exportación representó el 17% de este total. A pesar de que se ha trabajado en el proyecto de dos plantas de 825 mil toneladas, la construcción ha sido pospuesta. Actualmente se estudia cuidadosamente una mezcla de gasolina y metanol para automóviles a grandes alturas. Esta mezcla podría mejorar la combustión y reducir la contaminación en el área metropolitana de la ciudad de México. Sólo podría justificarse una mayor capacidad mediante un uso masivo del transporte. Como en el caso del amoníaco, el bajo nivel de ganancias netas procedentes del gas natural utilizado en la exportación de metanol no justifica otras inversiones en esta área.

Por ley, sólo Pemex puede producir y vender todos los productos petroquímicos primarios, así como un gran número de los secundarios. Exceptuando la producción de fertilizantes, que es también una actividad exclusiva del sector público, el resto de la producción petroquímica secundaria y terciaria está en el sector privado, en el que prevalecen las empresas de capitales nacionales y extranjeros asociados. La producción nacional de los productos petroquímicos secundarios representa el 80% de la demanda del país, y las exportaciones tan sólo cubren una pequeña proporción de los requerimientos de importación. Los actuales programas de expansión deberían aumentar la autosuficiencia de los petroquímicos secundarios en un 90% para 1985.

El crecimiento y la diversificación de la industria petroquímica mexicana habrá de continuar durante el decenio de los ochenta. Su expansión está basada firmemente en la abundante materia prima, en una infraestructura industrial capaz de manejar proyectos en gran escala, en una capacidad cada vez mayor para seleccionar y adaptar complejas tecnologías, y en sus amplias potencialidades técnicas. Estos recursos deberían permitir a la industria hacer frente a la rápida expansión de la demanda interna. Es importante hacer énfasis en que México se encuentra todavía en una fase de intenso crecimiento del ciclo de producción de la petroquímica. Paralelamente a los esfuerzos desarrollados en el mercado interno,

la industria petroquímica debe también ampliar sus exportaciones con el objeto de poder pagar una mayor cantidad de materias de importación para sus propios productos.

Debemos hacer especial mención de la industria de los fertilizantes. Su base de recursos es única. El país está dotado de gas natural para la producción de amoníaco y de recursos sulfurosos en gran escala en el sur del país, de grandes depósitos de rocas fosfóricas y de recursos de potasio recuperables en Baja California. El mercado interno de fertilizantes absorbe 4.5 millones de toneladas anuales, 85% de las cuales son producidas en el país. México es un país con más de 70 millones de habitantes, y para fines de este siglo su población habrá sobrepasado los 110 millones. Actualmente es casi autosuficiente en cuanto a sus alimentos básicos, y tradicionalmente ha exportado productos agrícolas. Si esta situación ha de continuar, la producción de fertilizantes deberá aumentar a un ritmo muy acelerado. Además, debería producirse un importante excedente para exportación. Estas exportaciones podrían ser una importante fuente de divisas y, lo que es más importante, un medio por el cual los energéticos harían aumentar el valor de otros recursos naturales. Esto requiere de serios esfuerzos de planeación y coordinación dentro del sector público, ya que todas las industrias relacionadas con los insumos y los productos finales, son propiedad del Estado.

### **Otros consumidores industriales**

Otros consumidores en gran escala de gas natural en México son la industria eléctrica, y las industrias del acero, del cemento, del gas, del papel y la madera prensada, y la industria minera. Para generar electricidad, el gas natural se utiliza principalmente en las turbinas de gas. Su uso en los quemadores ofrece flexibilidad en el manejo de las cargas de gas y se limita básicamente a atenuar las variaciones de la misma, semanales o propias de cada temporada. La industria eléctrica podría incrementar su consumo de gas natural de manera drástica. En América Latina, la industria mexicana del acero ocupa el segundo lugar después de la de Brasil. En 1981 su producción alcanzó los 7.6 millones de toneladas. Esta industria utiliza grandes cantidades de gas como combustible y como materia prima. De su producción total, 24% fue obtenido en las plantas de reducción directa. HYLSA, la empresa mexicana que desarrolló el proceso de reducción directa que lleva su nombre, es el mayor consumidor individual de gas natural del sector privado. La opción tecnológica tiene importantes implicaciones dentro de esta industria en lo que se refiere a eficiencia energética respecto

a la mezcla de energía primaria y secundaria. El papel relativo que los procesos de reducción directa y BOF deberían desempeñar en la expansión de la industria del acero plantea un desafío particularmente interesante en cuanto a la evaluación de proyectos y la planeación sectorial. En los últimos años las industrias del cemento, el vidrio, el papel y la madera prensada se han desarrollado rápidamente en respuesta a la demanda interna y han generado un nivel modesto, tanto de exportaciones, como de importaciones. En 1981, el consumo de gas natural de estas industrias fue de 80, 70 y 50 millones de pies cúbicos diarios respectivamente. Estos sectores también utilizan grandes cantidades de combustibles líquidos y electricidad.

### **Prioridades en la explotación del gas**

La más alta prioridad fue concedida a la eliminación de la quema de gas natural en el golfo de Campeche. En 1981, el total de la quema de gas representó el 21% de la producción bruta de gas asociado. En los yacimientos de tierra firme, esta cifra fue menor al 5%. Sin embargo, todo el gas producido en Campeche fue quemado. El sistema de recolección de gas está de nuevo al día; un gasoducto de 36 pulgadas que llega hasta la planta de procesamiento en tierra firme está en funcionamiento: el gas comenzó a fluir en diciembre pasado, y su uso representa ahora el 40% de la producción bruta; los módulos de compresión con capacidad de 100 millones de pies cúbicos diarios empiezan a funcionar a un ritmo acelerado. La quema del gigantesco yacimiento de Cantarell habrá de terminar durante el tercer trimestre de 1982, y en los otros yacimientos mar adentro que están en producción, en el cuarto trimestre.

Se ha asignado también una alta prioridad a equilibrar el sistema del gas natural, y a eliminar cuellos de botella. Esto aumentará la productividad de las recientes inversiones y proporcionará un modesto incremento en la producción neta. También habrá de preparar al sistema para los proyectados incrementos en la disponibilidad de gas en 1984.

Existe un gran potencial para la conservación del gas natural, particularmente dentro de la industria del petróleo. El bajísimo precio atribuido al gas en los informes internos de las empresas explica el uso tan poco eficiente de este combustible. Este es también el caso en el resto de las industrias. Los bajos precios internos han contribuido a su mal aprovechamiento. Es posible realizar importantes ahorros de gas mediante sencillas medidas de sustitución y un mejor aprovechamiento en los hogares.

Deberá buscar una mejor asignación del gas natural disponible. La

utilización de calentadores domésticos de gran tamaño deberá restringirse gradualmente, y habrá de dedicarse más atención a desarrollar y atender mercados de primera calidad. Los bajos precios internos aumentan el riesgo de estimular procesos de producción y actividades lucrativas desde una perspectiva privada, aunque esto no genera necesariamente un valor agregado para la economía en general.

Con el fin de favorecer estos objetivos, habrá de implementarse una política de precios más realista y activa. Los recientes incrementos en los precios internos del combustóleo y el gas natural han sido medidas tomadas con acierto. El 1o. de junio de 1982, el precio del gas aumentó de 0.34 dólares por millón de BTU a 0.54 dólares, precio que será aumentado automáticamente a la tasa mensual de 5%. El precio del combustóleo se incrementará en la misma proporción, partiendo de su actual nivel de 3.46 dólares por barril, incluido su transporte. En términos de BTU, el precio del gas es sólo 5% más elevado que el del combustóleo pesado. Esta diferencia habrá de ser incrementada gradualmente hasta que el excedente de combustóleo sustituya al gas natural en los mercados menos importantes.

## Cuadro 1

Indicadores y datos importantes sobre los energéticos en México  
(Millones de TEP)

## 1.1 General

	1973	1975	1977	1979	1981
Demanda de energía	51.36	59.97	67.68	85.35	106.56
Producción de energía	46.54	63.42	77.30	111.59	170.85
Producción demanda	0.906	1.06	1.14	1.31	1.60
Exportación neta de petróleo	(4.98)	2.84	10.01	26.08	61.01
Consumo total de petróleo	30.79	36.23	43.78	53.03	67.15
Relación EPT/PIB	0.65	0.68	0.71	0.76	0.81
EPT per cápita	0.96	1.05	1.11	1.31	1.53
Consumo de petróleo/PIB	0.39	0.41	0.46	0.47	0.51
Consumo de petróleo/EPT	0.60	0.60	0.65	0.62	0.63

## 1.2. Oferta

	1973	1975	1977	1979	1981
<b>PRODUCCIÓN</b>					
Carbón	1.33	1.60	1.57	1.67	1.63
Petróleo	26.18	39.75	53.73	79.71	129.36
Gas	14.30	17.50	16.62	25.16	33.10
Nuclear					
Hidro y geotérmica	4.73	4.57	5.38	5.05	6.76
Electricidad (TWh)	34.24	40.88	48.94	58.07	67.88
Otros					
<b>COMERCIO</b>					
Carbón					
Exportación					
Importación	0.25	0.38	0.46	0.59	0.33
Petróleo					
Exportación	1.28	5.14	10.48	27.37	61.93
Importación	6.26	2.30	0.47	1.29	0.92
Bunker					
Gas					
Exportación	0.04		0.05		2.48
Importación					

## 1.3. Demanda

	1973	1975	1977	1979	1981
<b>CONSUMO FINAL TOTAL</b>					
(CFT)	30.46	36.71	41.31	50.50	61.07
<b>Participación en el CFT (%)</b>					
Petróleo	66.3	70.8	71.1	70.2	70.1
Carbones	4.3	3.7	4.3	3.8	3.6
Gas	21.8	17.9	16.6	18.2	18.7
Electricidad	7.6	7.6	8.0	7.8	7.6
Otros					
<b>USO FINAL POR SECTOR</b>					
<b>INDUSTRIA</b>					
Petróleo	3.11	5.44	5.60	7.20	8.12
Carbones	1.32	1.37	1.79	1.94	2.14
Gas	5.79	5.32	5.36	7.17	8.92
Electricidad	1.02	1.23	1.59	1.81	2.19
Otros					
Total	11.24	13.36	14.34	18.12	21.37

	1973	1975	1977	1979	1981
<b>DOMÉSTICO/COMERCIAL</b>					
Petróleo	3.14	5.01	4.93	5.00	6.84
Carbones					
Gas	0.31	0.38	0.44	0.39	0.49
Electricidad	1.27	1.51	1.68	2.08	2.44
Otros					
Total	4.72	6.90	7.05	7.47	9.77
<b>TRANSPORTES</b>					
Petróleo	12.30	13.63	16.43	20.30	24.39
Electricidad	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
Total	12.33	13.66	16.46	20.33	24.43
<b>USOS NO ENERGÉTICOS</b>					
Total	2.17	2.79	3.46	4.58	5.50
<b>GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD<sup>1</sup></b>					
Petróleo	3.68	5.43	6.40	7.61	8.89
Carbones	0.05	0.03	0.04		
Gas	1.51	1.99	1.55	2.86	2.41
Nuclear					
Hidro y geotérmica	4.73	4.57	5.38	5.05	6.76

#### 1.4. Puntos de referencia

PIB (miles de millones en dólares americanos en 1975)	78.60	88.07	94.96	112.21	131.43
Población (millones)	53.3	57.0	61.0	65.2	69.7
Tasa de cambio (Pesos x dls. americanos)	12.49	12.49	22.58	22.81	24.51

#### 1.5. Tasas de crecimiento<sup>3</sup>

	1973-79	1975-79	1973-81	1975-81
EPT	8.8	9.2	9.6	10.1
PIB	6.1	6.2	6.6	6.9

	1973-79	1975-79	1973-81	1975-81
CFT	8.8	8.3	9.1	8.9
Relación EPT/PIB	2.6	2.8	2.8	3.0
Elasticidad <sup>2</sup>	1.4	1.5	1.5	1.5
Producción de energía	15.7	15.2	17.7	18.0
Importación neta de petróleo	77.2	74.1	80.1	10.1
Consumo de petróleo	9.5	10.0	10.2	10.8

<sup>1</sup> Insumos de combustibles.

<sup>2</sup> Tasa de crecimiento EPT dividida entre tasa de crecimiento PIB.

<sup>3</sup> Porcentaje anual.

## Cuadro 2

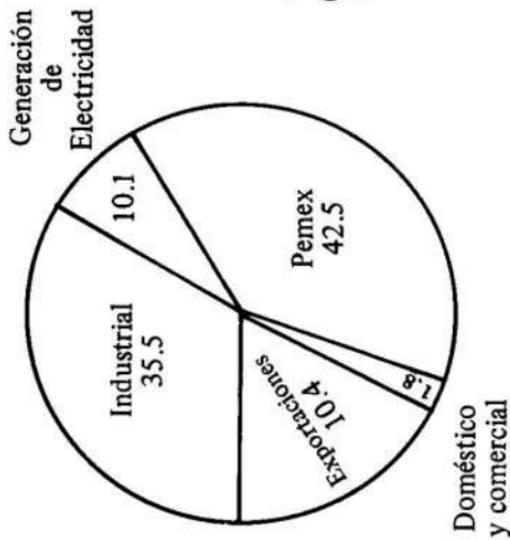
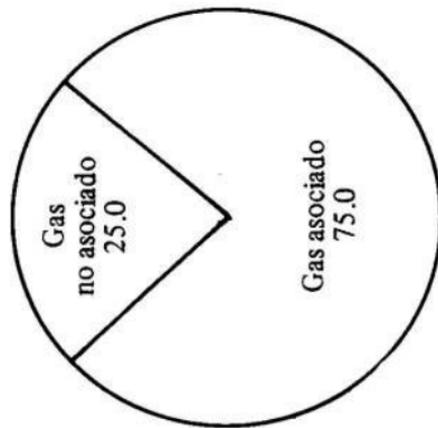
### Reservas probadas de petróleo y gas natural en México, marzo de 1982

	Petróleo		Gas natural	
	miles de millones de barriles	millones de toneladas	billones de pies cúbicos (10 <sup>12</sup> )	miles de millones de m <sup>3</sup>
Total	57.0	7 895	75.3	2 132
Zona norte	0.7	97	11.2	317
Zona central	1.6	222	3.8	108
Chicontepec	12.3	1 704	26.7	756
Zona sur	42.4	5 872	33.6	951
	Total de hidrocarburos <sup>1</sup>			
	miles de millones de barriles	millones de toneladas		
Probadas	72.1	9 973		
Probables	80.0	11 081		
Potenciales	250.0	34 627		

<sup>1</sup> Factores de conversión: 5 000 PC de gas natural = 1 B de petróleo  
7.22 B = 1 tonelada de petróleo.

Cuadro 3

Producción y consumo de gas natural en 1981  
(Porcentaje de participación)



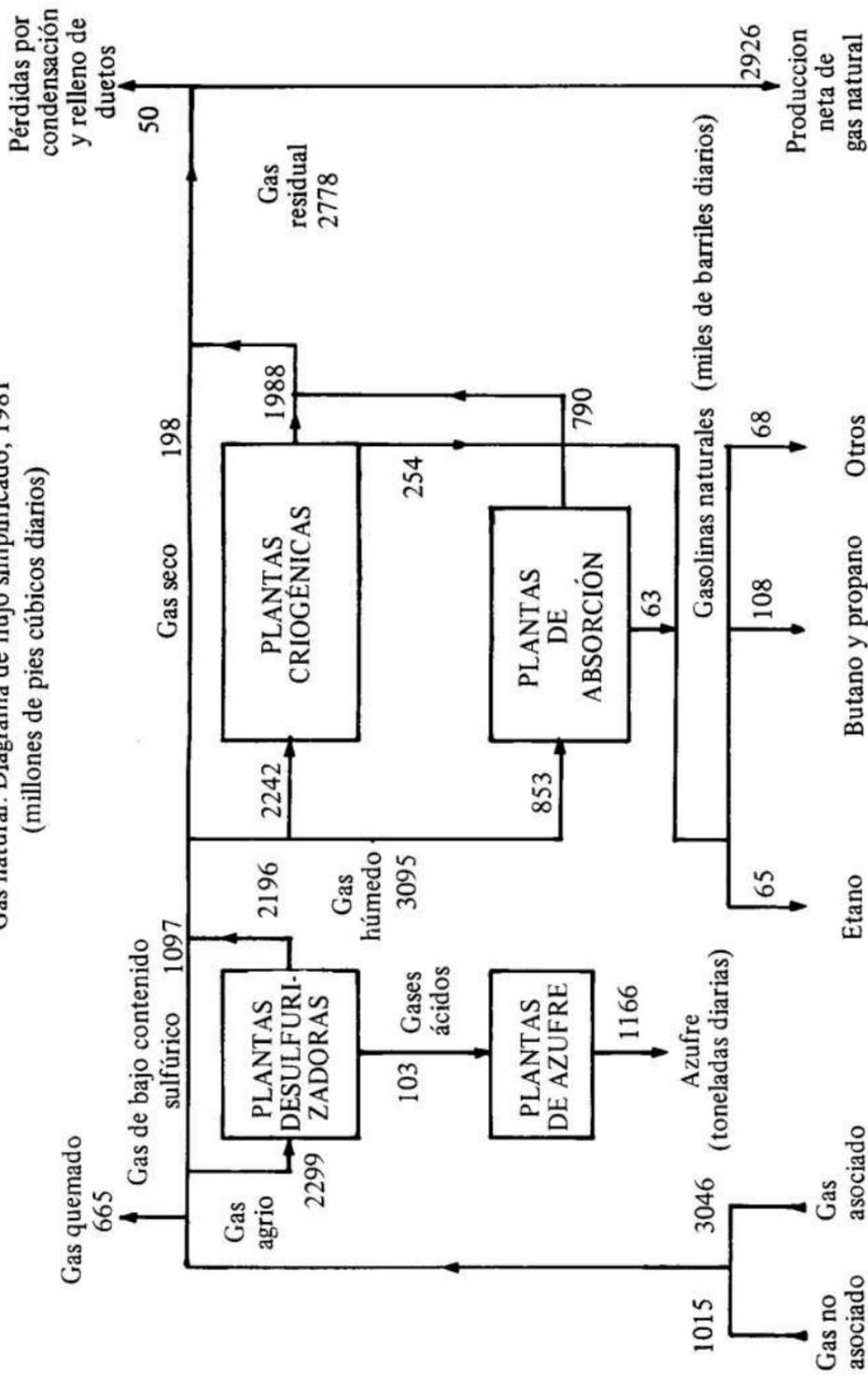
DESTINO DE  
LA PRODUCCIÓN

Diesel	6.4
Combustóleo	35.0
Gas Natural	58.6

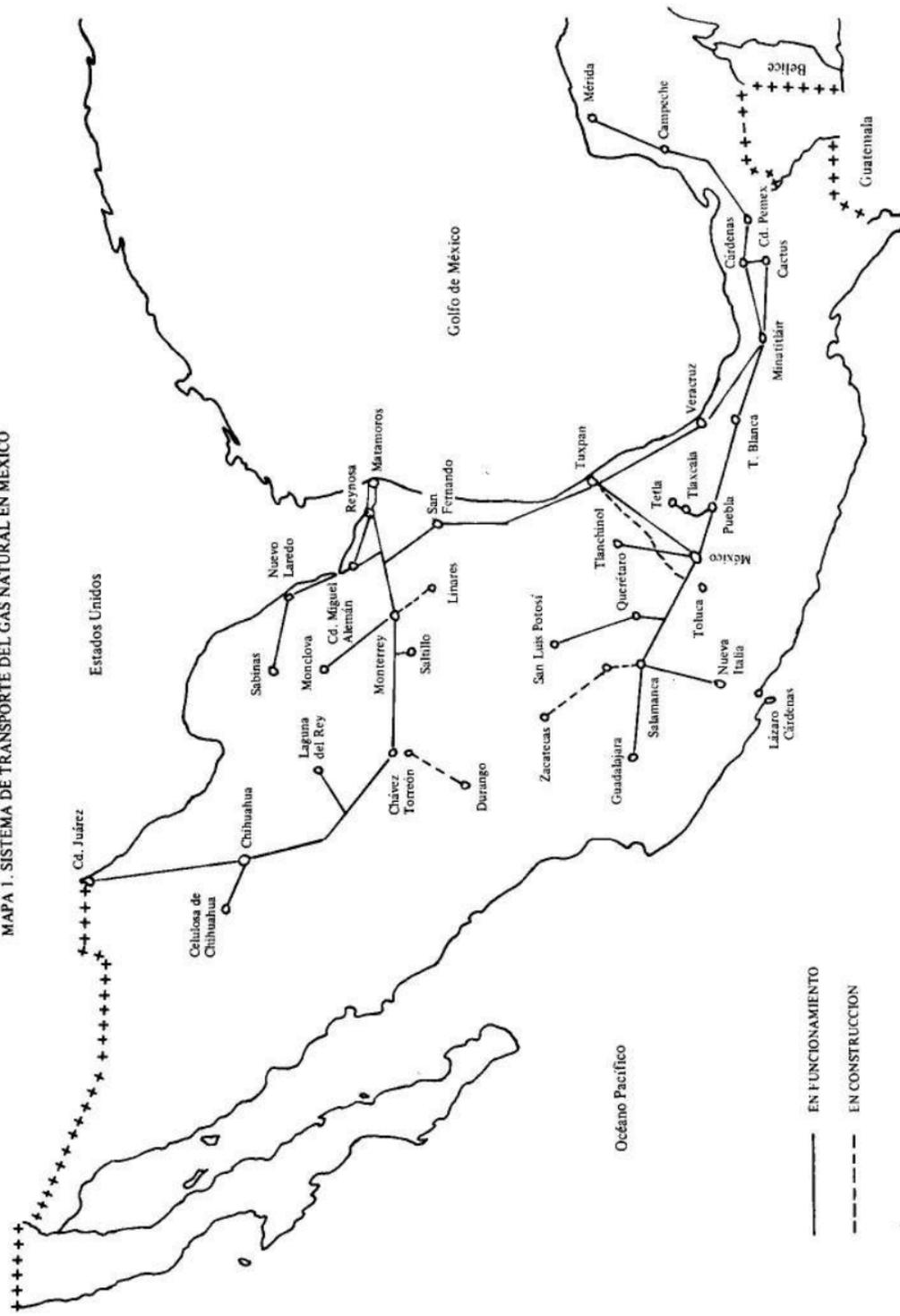
COMBUSTIBLES  
INDUSTRIALES

PRODUCCIÓN BRUTA

Gas natural. Diagrama de flujo simplificado, 1981  
(millones de pies cúbicos diarios)



MAPA 1. SISTEMA DE TRANSPORTE DEL GAS NATURAL EN MÉXICO



— EN FUNCIONAMIENTO  
 - - - EN CONSTRUCCION

## Cuadro 4.1

Balance del gas natural en México, 1976-1981  
(Millones de pies cúbicos diarios)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Producción bruta	2 108.6	2 046.2	2 561.4	2 916.6	3 548.0	4 060.8
Gas quemado	492.0	266.0	392.0	363.9	426.9	665.2
Reducciones	179.5	175.5	193.4	256.0	329.6	412.6
Pérdidas	n.d.	81.9	50.8	35.5	39.2	54.6
Residuos en ductos	n.d.	n.d.	n.d.	10.7	0.8	2.3
Producción neta	1 437.1	1 522.8	1 925.2	2 250.5	2 751.5	2 926.1
Diferencia estadística	37.6 <sup>1</sup>	54.4 <sup>2</sup>	77.8 <sup>2</sup>	33.5	-4.3	12.0
Importación	-	-	-	-	-	-
Disponibilidad total	1 399.5	1 468.4	1 847.4	2 217.0	2 755.8	2 911.1
Consumo propio de Pemex	513.1	566.2	788.9	944.6	1 082.2	1 238.7
Exportación	-	6.9	-	-	294.4	302.5
Ventas internas	886.4	895.3	1 058.5	1 272.4	1 379.2	1 372.9
Industria	640.2	653.0	749.1	875.6	999.8	1 026.7
Industria eléctrica	195.8	188.8	249.7	349.7	323.6	293.3
Uso doméstico	50.4	53.5	59.7	47.1	55.8	52.9

1 Incluye pérdidas y residuos en ductos.

2 Incluye residuos en ductos.

## Cuadro 4.2

Balance del gas natural en México, 1976-1981  
(Millones de metros cúbicos al año)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Producción bruta	21 853	21 149	26 474	30 145	36 771	41 971
Gas quemado	5 099	2 749	4 052	3 761	4 424	6 871
Reducciones	1 860	1 814	1 999	2 646	3 416	4 261
Pérdidas	n.d.	846	525	367	407	560
Residuos en ductos	n.d.	n.d.	n.d.	111	8	20
Producción neta	14 894 <sup>1</sup>	15 739 <sup>2</sup>	19 898 <sup>2</sup>	23 260	28 516	30 240
Diferencia estadística	390	563	804	346	-45	124
Importación	-	-	-	-	-	-
Disponibilidad total	14 504	15 176	19 094	22 914	28 561	30 119
Consumo propio de Pemex	5 318	5 852	8 154	9 763	11 216	12 802
Exportación	-	71	-	-	3 051	3 127
Ventas internas	9 186	9 253	10 940	13 151	14 294	14 190
Industria	6 634	6 749	7 742	9 050	10 362	10 612
Industria eléctrica	2 029	1 951	2 581	3 614	3 354	3 031
Uso doméstico	522	553	617	487	578	547

1 Incluye pérdidas y residuos en ductos.

2 Incluye residuos en ductos.

Cuadro 5.1

Producción de gas natural por región en México, 1976-1981  
(Millones de pies cúbicos diarios)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981
<b>Total</b>	2 108.7	2 046.2	2 561.4	2 916.6	3 548.0	4 060.8
Gas asociado	1 059.1	1 190.4	1 623.9	2 210.2	2 578.0	3 046.4
Zona norte	77.2	83.2	109.1	104.1	80.8	86.4
Zona del centro	150.9	132.7	159.4	183.3	186.7	167.9
Zona sur	831.0	974.5	1 355.4	1 922.8	2 310.5	2 792.1
Area de Reforma	633.0	820.5	1 205.5	1 747.1	1 915.4	2 132.3
Campeche	-	-	-	22.8	258.2	529.5
Otras	198.0	154.0	149.9	152.9	136.9	130.3
Gas no asociado	1 049.6	855.8	937.5	706.4	970.0	1 014.4
Reynosa	-	-	412.9	390.8	368.7	356.2
Monclova	383.3	391.1	109.8	169.1	149.9	99.3
Ciudad Pemex	643.6	442.1	392.4	124.2	429.2	506.1
Otras	22.7	22.6	22.4	22.3	22.2	52.8

Cuadro 5.2

Producción de gas natural por región en México, 1976-1981  
(Millones de metros cúbicos al año)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Total	21 853	21 149	26 474	30 145	36 771	41 971
Gas asociado	10 976	12 304	16 784	22 844	26 718	31 486
Zona norte	800	860	1 128	1 076	837	893
Zona del centro	1 564	1 372	1 648	1 895	1 935	1 735
Zona sur	8 612	10 072	14 008	19 873	23 946	28 858
Área de Reforma	6 560	8 480	12 460	18 057	19 851	22 038
Campeche	-	-	-	236	2 676	5 473
Otras	2 052	1 592	1 548	1 580	1 419	1 347
Gas no asociado	10 877	8 845	9 690	7 301	10 053	10 485
Reynosa	-	-	4 267	4 039	3 821	3 681
Monclova	3 972	4 042	1 135	1 748	1 554	1 026
Ciudad Pemex	6 670	4 569	4 056	1 284	4 448	5 231
Otras	235	234	232	230	230	547



Cuadro 7.1

Gas natural procesado en México, 1976-1981  
(Millones de pies cúbicos diarios)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Procesamiento del gas agrio	574.0	872.1	1 141.2	1 830.3	2 121.2	2 298.7
Procesamiento del gas húmedo	1 552.0	1 675.9	1 816.5	2 280.4	2 844.5	3 095.2
Producción de gas residual	1 402.4	1 488.0	1 806.0	2 061.6	2 572.0	2 778.1
Gas transportado por ductos	n.d.	1 296.0	1 775.0	1 949.9	3 178.4	3 426.1
Producción de líquidos derivados del gas natural (mbd)						
Etano	17.6	19.0	24.0	30.0	31.0	65.3
Propano y fracciones más pesadas	75.7	85.4	92.9	117.0	162.4	176.2

## Cuadro 7.2

Gas natural procesado. México, 1976-1981  
(Millones de metros cúbicos)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Procesamiento del gas agrio	5 949	9 014	11 795	18 917	21 984	23 759
Procesamiento del gas húmedo	16 085	17 321	18 775	23 569	29 480	31 991
Producción de gas residual	14 534	15 379	18 666	21 308	26 656	28 713
Gas transportado por ductos	n.d.	13 395	18 346	20 148	32 941	35 411
Producción de líquidos derivados del gas natural (miles de toneladas)						
Etano	376	430	543	679	703	1 478
Propano y fracciones más pesadas	2 739	3 119	3 403	4 208	5 857	6 591

## Cuadro 8

Producción de petroquímica básica seleccionada.<sup>1</sup>

México, 1981

(Miles de toneladas métricas)

---

Acetaldehído	122
Acrilonitrilo	54
Amóníaco	2 183
Benceno	76
Butadieno	12
Ciclohexano	44
Dicloroetano	117
Etileno	378
Oxido de etileno	48
Metanol	180
Propileno	156
Estireno	33
Tolueno	132
Clorovinilo	57
Xileno	142
<i>Memorándum</i>	
PBD (polietileno de baja densidad)	91
PAD (polietileno de alta densidad)	67

---

<sup>1</sup> Las cifras de producción corresponden a la producción de PEMEX. Esta empresa nacionalizada es la única productora de petroquímica básica en México.

# EXPERIENCIAS DE LA PLANTA NUCLEAR DE LAGUNA VERDE

*Rogelio Ruiz*

## **Introducción**

En este trabajo se ofrece un análisis general de las consideraciones básicas que llevaron al gobierno de México en 1971 a la decisión de instalar la primera nucleoelectrónica mexicana, de los problemas que se han dado en el curso de su construcción y de los resultados logrados hasta la fecha. El autor sostiene que la problemática de Laguna Verde tiene sus orígenes en factores internos y externos que no se consideraron en el momento de la decisión, y que precisamente por ello el balance del proyecto Laguna Verde, a la fecha, resulta negativo.

## **Los orígenes del desarrollo nuclear en México**

El interés de México por emprender un desarrollo nuclear tuvo sus orígenes, como en muchos otros países, en las grandes expectativas que se generaron sobre los usos pacíficos de la energía atómica a partir del programa de Átomos para la Paz (1953) y de la Conferencia Internacional sobre los Usos Pacíficos de la Energía Atómica (1955).

La influencia de la política nuclear de Eisenhower se dejó sentir en la primera mitad de los años cincuenta, entre algunos técnicos trabajadores del sector eléctrico y entre algunos científicos de la UNAM. Estos grupos empezaron a promover la idea de una involucración mexicana en el desarrollo de la energía atómica para usos pacíficos. Las primeras acciones se orientaron a la formación de recursos humanos en ese campo y para ello contaron con la ayuda de algunos grupos como el Fund for Peaceful Atomic Development Inc., fundado en 1954 en Detroit, Michigan, con el objeto de ofrecer ayuda financiera para la cooperación internacional en

el desarrollo de la energía atómica.<sup>1</sup> En México esta organización, conjuntamente con la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz de propiedad privada norteamericana, se dio a la tarea de organizar conferencias sobre energía atómica para líderes empresariales y científicos. También estableció en la Universidad de Michigan un programa de becas para estudiantes mexicanos de ingeniería nuclear. La Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz logró concretar dos importantes iniciativas: fundó en 1955 una biblioteca especializada en energía atómica y el llamado Grupo de Estudios de Energía Atómica, compuesto por algunos ingenieros de la propia compañía y de otras organizaciones.

Ese mismo año en el mes de agosto, México envió a un grupo de representantes a la Conferencia Internacional sobre los Usos Pacíficos de la Energía Atómica, celebrada en Ginebra, Suiza, y convocada por Estados Unidos e Inglaterra con la participación de aproximadamente setenta naciones. Meses después, el 19 de diciembre de 1955, el gobierno mexicano expidió la ley que creaba la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) básicamente siguiendo las tendencias mundiales, emergentes a raíz de la Conferencia de Ginebra de crear organismos gubernamentales para responsabilizarse del desarrollo nuclear. Para integrar dicha Comisión, se invitó a un grupo de distinguidos físicos de la UNAM a que participaran en la formación del organismo sin desatender sus actividades docentes y de investigación en la UNAM. Dada la heterogeneidad en las especialidades de los integrantes de la Comisión, el resultado fue la instrumentación de una serie de "programas" nucleares que en realidad tenían poco que ver con la energía nuclear y eran enteramente ajenos a las necesidades del país. Por ejemplo, señala un investigador, "había uno consagrado a las cuestiones del espacio y otro a estudios genéticos".<sup>2</sup>

No obstante esta diversidad de programas, hay consenso en que el verdadero legado de la Comisión fue la formación, tanto en México como en el extranjero, de un pequeño grupo de especialistas de avanzado nivel en el campo nuclear y en otros menos directamente relacionados con la energía nuclear. También, la Comisión se dedicó a las tareas pioneras en la exploración de algunas áreas del territorio nacional en busca de concentraciones de uranio potencialmente explotables. Los especialistas formados con el apoyo de la Comisión intentaron, al principio de la década de los sesenta, el diseño y construcción de un reactor de investigación para con ello promover la capacidad tecnológica nacional y abrir el camino al

<sup>1</sup> Las actividades de esta organización incluían la investigación en el campo nuclear, la publicación y difusión de información acerca de los usos pacíficos de la energía atómica y su difusión a través de consultorías, asesoría técnica, orientación de visitantes extranjeros, misiones en el exterior y el apoyo de organizaciones similares de otros países.

<sup>2</sup> Ponce, Antonio, "México ingresó a ciegas en la era nuclear" nota de F. Peña, *Uno más Uno*, julio 14, 1980.

desarrollo de la energía nuclear en México. La respuesta de las autoridades de aquel entonces fue negativa, argumentando que sería más conveniente, por razones económicas, la compra de un reactor TRIGA de investigación (reactor que más tarde pasaría a ser uno de los elementos básicos de investigación en el Centro Nuclear de Salazar del CNEN).<sup>3</sup>

### La decisión de construir la primera planta nucleoelectrónica: Laguna Verde

En 1966 la Comisión Federal de Electricidad decidió incursionar en el campo de la nucleoelectricidad y realizó análisis económicos superficiales que sugerían la competitividad de la opción nucleoelectrónica frente a otras fuentes de electricidad. El gobierno del presidente Díaz Ordaz accedió a considerar los estudios de viabilidad de plantas nucleares del orden de los 500 MW y ante esta respuesta, la CFE estableció su sección nuclear compuesta por tres profesionales formados en el extranjero en el campo de la ingeniería nuclear, gracias al apoyo brindado por la CNEN para la formación de recursos humanos. Este grupo ya puesto en el seno de la CFE, y con el apoyo de científicos mexicanos de reputación internacional como Nabor Carrillo y Manuel Sandoval Vallarta, quienes promovieron en el Gobierno mexicano el proyecto nuclear, estableció un convenio con el Stanford Research Institute de California para la elaboración de un modelo que permitiría analizar la expansión de los sistemas eléctricos incluyendo plantas nucleoelectrónicas entre los medios posibles de generación. Durante la elaboración del modelo se contó también con la colaboración directa de técnicos de Petróleos Mexicanos y de la Comisión Nacional de Energía Nuclear y se tuvieron intercambios de ideas con funcionarios del Banco de México y de Nacional Financiera. La información para el análisis fue aportada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos y algunas empresas constructoras de plantas nucleares.<sup>4</sup> Los resultados del análisis indicaron que el costo de instalación de una planta nucleoelectrónica era el factor determinante para su adopción. Se concluía que la energía producida por la planta nucleoelectrónica, considerando tanto inversión como operación, costaría lo mismo que la producida en plantas térmicas convencionales, a base de combustible o gas, "si estos últimos combustibles tuvieran un incremento de precio del orden del 7%."<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Eibenschutz, Juan, "México" en Everett Katz J. y U. Marwah S. Onkar, *Nuclear Power in Developing Countries*, Lexington Mass, Lexington Books, 1982, cap. 13.

<sup>4</sup> *Ibid.*, p. 247.

<sup>5</sup> "Dictamen sobre la conveniencia de instalar la primera planta nucleoelectrónica",

Dadas las características comerciales del mercado para las plantas nucleares, la recomendación fundamental del análisis fue que se buscaran ofertas firmes para la contratación de una planta nucleoelectrónica, a fin de contar con información confiable respecto al monto de las inversiones y los costos iniciales de generación.<sup>6</sup> Atendiendo a esta recomendación, en 1969 se procedió con la precalificación de los fabricantes que estuvieran interesados en concursar. La selección de éstos estuvo a cargo de un grupo especial formado por miembros de la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Nacional de Energía Nuclear, contando con la asesoría de la firma norteamericana Burns and Rowe. Si bien el grupo determinó convocar a nueve proveedores, sólo se recibieron ofertas de siete empresas, entre ellas General Electric, Westinghouse, Combustion Engineering (EU); Atomic Energy of Canada Limited (Canadá); Kraftwerk Union (Alemania Federal), Mitsubishi (Japón) y Asea-Atom (Suecia). Enseguida se prepararon las especificaciones que deberían respetar las ofertas para una planta nucleoelectrónica de 650 000 Kw de capacidad nominal. Mientras los oferentes trabajaban en sus propuestas, un grupo compuesto por personal de la CFE y de Burns and Rowe, utilizando información preliminar de los oferentes, se dedicó a preparar algunos diseños básicos para los cuatro tipos de reactores incluidos en la licitación, de agua presurizada (PWR), de agua hirviente (BWR), de gas avanzado (AGR) y Candú. Según una fuente nacional experta: "El procedimiento de selección consideraría el análisis de los costos totales de capital asociado a cada oferta de sistemas nucleares de vapor. Las ofertas de las turbinas generadoras se integrarían a esos costos de capital de tal forma que éstos y los costos de operación, para un periodo de treinta años, se pudieran evaluar y dividir entre el valor presente de la generación total esperada, de cada uno de los diferentes tipos de plantas durante la vida útil de éstas. El criterio fundamental para evaluar las ofertas fue el precio más bajo por unidad de kilowatt/hora producido durante el periodo de operación del sistema."<sup>7</sup> Al recibirse las ofertas cada una de ellas se contrastó con su diseño correspondiente, con el fin de calcular los costos totales de la planta. De esta evaluación surgieron dos ganadores y se procedió a reevaluar sus ofertas; declarándose como la mejor la oferta realizada por Combustion Engineering. No obstante, al poco tiempo el concurso fue anulado.

El presidente Gustavo Díaz Ordaz seguía teniendo buena voluntad hacia el esfuerzo que desplegaban los promotores nucleares pero vacilaba

---

México, D.F., 16 de julio de 1970. Documento preparado por los representantes técnicos de las secretarías de la Presidencia, Hacienda, Patrimonio Nacional, Industria y Comercio y Relaciones Exteriores, así como de la Comisión Federal de Electricidad, Petróleos Mexicanos y la Comisión Nacional de Energía Nuclear.

<sup>6</sup> *Ibid.*, p. 4.

<sup>7</sup> Eibenschutz, *op. cit.*, p. 251.

en dar una respuesta que definiera el desarrollo nucleoelectrico. A mediados de 1970, por acuerdo del propio Presidente, se integró un grupo de trabajo con objeto de determinar la conveniencia de proseguir los estudios para la instalación de la primera planta nucleoelectrica, y a fin de elaborar el dictamen correspondiente. Este grupo estaba formado por los representantes técnicos de las secretarías de la Presidencia, Hacienda y Crédito Público, Industria y Comercio, Patrimonio Nacional y Relaciones Exteriores; así como de la Comisión Federal de Electricidad, Petróleos Mexicanos y Comisión Nacional de Energía Nuclear. Todo esto ocurría en un periodo en que la falta de producción interna hacía necesaria la importación de crudo y se hablaba de la escasez de energéticos en México.<sup>8</sup>

El 16 de julio de 1970 a escasos días de que terminara el sexenio, el grupo presentó su dictamen para la consideración de un programa de aprovechamiento de la energía nuclear en México. En él expusieron tres sugerencias a manera de conclusiones:

1. Que México iniciara el aprovechamiento de la energía nuclear con fines de generación de energía eléctrica.
2. Que la CFE aprovechara el concurso celebrado para la adquisición del equipo de una planta nucleoelectrica con capacidad de 650 000 Kw
3. Que la experiencia derivada de la instalación de la primera planta nucleoelectrica fuera evaluada sistemáticamente por el Gobierno Federal para determinar las perspectivas de un mayor aprovechamiento de la energía nuclear.

El dictamen tenía como marco de referencia global las implicaciones de tres criterios fundamentales y diez consideraciones básicas, que trataremos de contrastar con las políticas que les siguieron y con los resultados de éstas. Los criterios fundamentales para legitimar la decisión han sido:

El aprovechamiento racional de los recursos energéticos del país de acuerdo con su disponibilidad y rendimiento.

La satisfacción oportuna, suficiente y económica de la demanda de energía eléctrica.

El impacto de la importación de equipo y materiales en la balanza de pagos.

<sup>8</sup> "De 1970 a 1972 las importaciones de crudo se elevaron sustancialmente para cubrir la brecha creciente entre producción y consumo interno y sólo en 1972 alcanzaron la cantidad de 9.9 millones de barriles." Turrent Díaz Eduardo, *La industria petrolera mexicana, 1965-1973*, tesis para optar por el título de Maestro en Economía, México, D.F., El Colegio de México, c. 1976 (mimeo) p. 128.

Las consideraciones básicas del grupo pueden resumirse de la siguiente manera.

1. *La satisfacción de la demanda de electricidad.* La necesidad de cubrir a partir de fines de 1975 la demanda de 800 000 KW por año tan sólo en los sistemas interconectados del sur de México.

2. *Sustitución de la demanda de hidrocarburos con materiales nucleares.* Dado que la escasez de nuevos aprovechamientos hidroeléctricos de gran capacidad, explotables a corto plazo, obligaba a una mayor participación de las plantas térmicas, lo que implicaba mayores necesidades de gas natural y combustóleo, era necesario el ahorro de hidrocarburos puesto que el consumo futuro para la generación de energía eléctrica se estimaba en 26 millones de barriles para 1971 y en 95 millones para 1980, representando en esta última fecha el 37% de la demanda total de combustibles industriales esperada por Petróleos Mexicanos. La planta nuclear propuesta permitiría sustituir aproximadamente 8 millones de barriles de combustóleo por año.

3. *Costos de inversión en la planta nuclear.* La inversión en la planta nucleoelectrica se estimaba en aproximadamente 60% más que la inversión en una termoeléctrica convencional equivalente, pero los menores costos de combustible para la primera hacían que el costo total de generación resultara prácticamente el mismo en los dos tipos de planta considerando un periodo de operación de 30 años. Tomando en cuenta la tendencia relativa entre los costos futuros para combustibles fósiles y nucleares, el grupo consideraba que había una gran probabilidad de que la generación en plantas nucleares resultara más barata que en plantas que utilizaban combustibles fósiles. Por otra parte el precio del combustóleo para la CFE era de 117.50 pesos m<sup>3</sup> LAB puntos de embarque, mientras que el precio promedio para el resto de la industria era de 141.96 pesos m<sup>3</sup> LAB puntos de embarque; además, el grupo consideraba que los costos de los combustibles nucleares tenderían a disminuir o en todo caso a mantenerse constantes.

4. *Disponibilidad de mejores financiamientos para la opción nuclear.* Los financiamientos ofrecidos a CFE para la planta nuclear eran mejores que los disponibles para plantas convencionales.

5. *Monto de la inversión adicional respecto a una termoeléctrica convencional.* El grupo consideraba que la inversión adicional en la planta nucleoelectrica con respecto a la inversión para las termoeléctricas convencionales que se desplazarían, resultaría en un incremento promedio de menos del 3% en el programa de inversiones de la CFE durante el periodo de construcción de la planta nuclear, de 1971 a 1975.

6. *Impacto de la opción nuclear sobre la balanza de pagos.* El grupo consideraba que la componente de importación en la instalación de la planta nucleoelectrica era mayor que la planta térmica convencional equivalente, *pero tomando en cuenta el peso de los costos de combustible, la instalación de la planta nucleoelectrica resultaría con un impacto sobre la balanza de pagos similar al de la instalación de una planta térmica.* Por otra parte, señalaban que sería posible exportar el combustible desplazado por la planta nucleoelectrica, a un precio atractivo en divisas extranjeras, que haría positivo el saldo para la balanza de pagos del país.

7. *Fomento al desarrollo de una mayor integración tecnológica.* El grupo consideraba que la generación de electricidad mediante plantas nucleares permitiría el aprovechamiento de un recurso energético aún no explotado e induciría al desarrollo de la minería del uranio y en el futuro se daría una mayor integración en la fabricación de combustibles nucleares y de componentes para las plantas.

8. *Garantía en el enriquecimiento y suministro del uranio mexicano.* El grupo creía en la posibilidad de asegurar el enriquecimiento del uranio mexicano mediante la celebración de un convenio con el Organismo Internacional de Energía Atómica, eliminando con ello la necesidad de concertar convenios bilaterales con los países poseedores de la tecnología de enriquecimiento.

9. *Apoyo al desarrollo pacífico de la energía nuclear.* Se pensaba que la instalación de la primera planta nucleoelectrica sería la demostración del interés de México en la utilización pacífica de la energía nuclear y esto a su vez sería una expresión de congruencia con su postura promotora del Tratado de Tlatelolco.

Casi al mismo tiempo que el grupo de trabajo presentaba sus sugerencias, los resultados de la evaluación de los oferentes de tecnología habían llegado al presidente Díaz Ordaz quien decidió, ante el inminente cambio de gobierno, que fuera su sucesor quien tomara la decisión. El 31 de enero de 1971 el nuevo Presidente, Luis Echeverría, tuvo una reunión de trabajo con los secretarios de Hacienda, Presidencia e Industria y Comercio, el Director del Banco de México, el Director de la Comisión Federal de Electricidad, el subsecretario de Relaciones Exteriores y otros funcionarios de esas dependencias. Durante esta reunión dedicada a una presentación del proyecto para la instalación de la primera planta nucleoelectrica de la CFE, el presidente Luis Echeverría dispuso la integración de un subgrupo para reanalizar el problema en sus aspectos financieros y de sustitución de energéticos. Este subgrupo quedó integrado por los directores de Inversiones Públicas y Estudios Económicos de la Presidencia, el Director de Estudios Hacendarios de la Secretaría de Hacienda; el Sub-

director de Producción Industrial de Petróleos Mexicanos, el Director General de Electricidad de la secretaría de Industria y Comercio; el Asesor del secretario de Hacienda y el Jefe del Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica de la CFE. Al tiempo de constituirse este subgrupo en que participaron algunos de los miembros del primer grupo de evaluación, ya de hecho se tenían resueltos algunos de los problemas más importantes.<sup>9</sup>

El financiamiento estaba prácticamente contratado en su mayoría. El Banco Mundial había manifestado su buena voluntad para proporcionar un crédito que cubriría una parte significativa de la inversión en la planta nucleoelectrica. Ofrecía un crédito a largo plazo por 41 millones 280 mil dólares para la adquisición del equipo complementario y para una parte de la construcción y además abría la posibilidad para otorgar otro financiamiento por 11 millones 600 mil dólares, que se destinaría a la adquisición de la primera carga de combustible. El Eximbank de los Estados Unidos había ofrecido 34 millones 240 mil dólares y el Banco de Exportaciones del Japón ofrecía 9 millones 760 mil dólares. Se esperaba también lograr financiamiento para los transportes extranjeros y de lograrse esto último, sólo sería necesario desembolsar recursos propios del orden de 29 millones 600 mil dólares durante los cinco años que tomaría la construcción de la planta nucleoelectrica. Los análisis comparativos indicaban al grupo que la construcción de la nucleoelectrica no afectaría en forma sensible el endeudamiento externo del país. Para lograr la inversión de lo que sería el autofinanciamiento, ya se contaba con el programa de inversiones del sector eléctrico para el sexenio 1971-1976, cuyo monto ascendía a 2 400 millones de dólares. Se consideraba que el costo de la planta nucleoelectrica sería de 128 millones de dólares, incluyendo la primera carga de combustible. Se argumentaba también que esta planta sustituiría una capacidad equivalente en plantas térmicas convencionales, cuyo costo estimado era de 76 millones de dólares, por lo que la inversión adicional neta sería únicamente del orden de 2 o 3 por ciento del programa total de inversiones de la CFE.

El Organismo Internacional de Energía Atómica ya había dado su aprobación al sitio seleccionado para la instalación de la planta nucleoelectrica (Laguna Verde, Veracruz) después de revisar los trabajos de localización que consistieron en investigar siete sitios que cumplieran con los requisitos necesarios para instalar plantas nucleares, analizando sus

<sup>9</sup> "Dictamen sobre el proyecto nucleoelectrico de la Comisión Federal de Electricidad", México, D.F., 11 de febrero de 1971. Documento preparado por los Directores de Inversiones Públicas y de Estudios Económicos de la Presidencia, el Director de Estudios Hacendarios de la secretaría de Hacienda, el Subdirector de Producción Industrial de Petróleos Mexicanos, el Director General de Electricidad de la secretaría de Industria y el Jefe del Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica de la CFE. Nota. en adelante se cita como "Dictamen 1971".

economías de construcción, operación y transporte de la energía hasta los sistemas eléctricos.

El representante de PEMEX hizo énfasis en la conveniencia de que la demanda de la CFE no gravitara en tan alto porcentaje sobre la oferta de combustibles fósiles industriales, con objeto de que las futuras inversiones de PEMEX se llevaran a cabo sin el compromiso de atender primordialmente el suministro de la demanda de la CFE, quien además estaba obligada a buscar otras fuentes de abastecimiento energético, ya que de no ser así, se consideraba en el dictamen, el subsidio en precios de combustible otorgado a la industria eléctrica seguiría teniendo un impacto directo en las finanzas de PEMEX. Para lograr un efecto sobre la demanda de la CFE, PEMEX tendría que incrementar el precio del combustible para las termoeléctricas, hasta que éste alcanzara el promedio de los precios vigentes entre los consumidores industriales. Una vez incrementado el precio en el combustible convencional, se pensaba en PEMEX, su efecto sería positivo en la economicidad de las plantas nucleares, haciendo que éstas igualaran y hasta sobrepasaran la economicidad de las plantas termoeléctricas.

El 11 de febrero de 1971, el segundo grupo intergubernamental integrado para evaluar los factores implícitos en la instalación de la primera planta nucleoelectrónica nacional, concluyó que: *a*) desde el punto de vista de la economía energética nacional convenía en ese momento empezar la construcción de la planta nuclear, aprovechando el concurso realizado, ya que la validez de las ofertas expiraba el mismo mes; *b*) que el estado de los trabajos preparatorios (cotizaciones, selección de sitio, anteproyectos, posición del Banco Mundial, etcétera) haría posible la entrada en operación comercial de la planta en mayo de 1976, y *c*) para que Laguna Verde no se iniciara como un esfuerzo aislado, el grupo de evaluadores creyó conveniente sugerir la iniciación, a la brevedad posible, de la planeación nacional de los energéticos, ya que esto permitiría determinar, entre otros objetivos, una política más coherente de instalación de futuras plantas nucleoelectrificadas.<sup>10</sup>

No obstante la revalidación del proyecto Laguna Verde, otorgada por el gobierno del presidente Luis Echeverría, hubo necesidad de reconsiderar algunas cuestiones acerca de las ventajas y desventajas políticas asociadas al reactor de agua ligera, favorecido por el primer análisis de ofertas. La segunda comisión de evaluación, donde se representaban una serie de intereses, cuestionó la compatibilidad de los requerimientos del reactor de agua ligera con los intereses nacionales de independencia energética. Los argumentos eran enfáticos acerca de los problemas que resultarían de contratar una tecnología cuyos requerimientos —el enriquecimiento de uranio—

<sup>10</sup> *Ibid.*, p. 3.

obligarían al país a depender del exterior en cuanto al suministro del combustible atómico necesario para la planta. También hubo desacuerdos entre los miembros del grupo, al considerar algunos que la tecnología del reactor de agua ligera sería obsoleta ya en el momento de entrar en operación la nucleoelectrica. Otra preocupación más entre algunos evaluadores, principalmente entre los representantes del Instituto Nacional de Energía Nuclear, era respecto a la poca atención dada en el análisis de las ofertas, a la participación nacional en la construcción de la primera nucleoelectrica. Se cuestionaba también la capacidad de la CFE para llevar a cabo sin mayores obstáculos, el proyecto nucleoelectrico; así como el impacto positivo que éste tendría en el desarrollo científico del país. A pesar de los desacuerdos sobre cuestiones fundamentales de la decisión, el subgrupo de evaluación decidió no retrasar más el inicio del proyecto Laguna Verde. Se convocaron otra vez las ofertas pero en esa ocasión Atomic Energy of Canada decidió retirarse del concurso debido a la supuesta parcialidad a favor de los oferentes norteamericanos, de Burns and Rowe en la evaluación de las ofertas presentadas. Alrededor de mayo de 1972 se resolvió que la General Electric fuera la suministradora de un reactor de agua hirviendo (BWR) y que la Mitsubishi aportara el generador de turbina. Todos los oferentes trataron de responder a uno de los más importantes requerimientos de la licitación, a saber, la transferencia efectiva de una parte de la tecnología asociada al ciclo del combustible nuclear. Prometieron, como paso inmediato, la transferencia efectiva de información necesaria para la eventual fabricación en México de combustible y en septiembre de 1972 se firmaron cartas de intención con los proveedores del equipo para la primera unidad, dejándose abierta la opción para la contratación de otra.

En 1973 la CFE ya tenía un nuevo estudio sobre la conveniencia de adquirir la segunda unidad para Laguna Verde. Sin embargo, este estudio fue impugnado por la propia Gerencia de Planeación y Programa de la CFE, señalando que sería incosteable en muchos sentidos por lo que recomendaba no se adquiriera. No obstante la recomendación, en agosto de 1973 se firmó un convenio con los proveedores para que estos surtieran dicha unidad.

En México uno de los factores de más peso en la decisión de construir una planta nucleoelectrica fue la participación de notables expertos del campo nuclear mexicano en las reuniones internacionales organizadas por el OIEA con el fin de favorecer los contactos personales entre técnicos, científicos y administradores de países consumidores y productores de tecnología nuclear. También la vieja U.S. Atomic Energy Commission (AEC) influyó en los formuladores de decisiones norteamericanas para que éstos favorecieran el desarrollo nuclear en México, mediante la disseminación de información y el fomento a la participación en estudios conjuntos. El resultado de esta política llevó a México a involucrarse en el OIEA y

con la AEC para evaluar la posible instalación de una planta nuclear dual.<sup>11</sup>

Inmediatamente después de las definiciones sobre el tipo de tecnología para Laguna Verde, se iniciaron las obras de construcción y con ello surgió toda una serie de problemas.

### Los problemas de la planta de Laguna Verde

Respecto a Laguna Verde es pertinente explorar su problemática a partir de tres preguntas, cuyas respuestas tentativas sirvan de guía para evaluar el acierto o desacierto de las recomendaciones hechas por los grupos intergubernamentales y de interés que apoyaron y promovieron, a veces urgentemente, la construcción de la planta nucleoelectrónica.

¿Qué tan válidos aparecen, a la luz de los resultados logrados y los acontecimientos contemporáneos, tanto los criterios de referencia como las consideraciones esgrimidas en los dictámenes de las dos comisiones intergubernamentales? ¿Por qué vicisitudes ha pasado la construcción de Laguna Verde y qué experiencias se han logrado a partir de ellas, para optimizar el desarrollo nuclear nacional?

Laguna Verde es un proyecto con una problemática en dos frentes: el interior y el exterior. En el frente interior los problemas han sido, principalmente, de orden político y económico. En el orden político, la propia estructura y *modus operandi* del sistema político mexicano han tenido un impacto directo en el desarrollo de Laguna Verde. Los cambios de directores, la cercanía o lejanía de éstos con el Presidente de la República, las pugnas internas en la CFE y los obstáculos que ésta ha enfrentado tanto con miembros prominentes de la comunidad nuclear, como con otros grupos de interés en el seno mismo de la estructura gubernamental, son elementos que no han favorecido la buena marcha del proyecto Laguna Verde. Algunos ejemplos ilustran este punto de vista. Al poco tiempo de la formalización del pedido de tecnología para Laguna Verde, hubo cambio de director en la CFE y éste encontró que el proyecto planteaba dudas, tanto en México como en el extranjero, acerca del diseño, tipo de reactor, sitio para la instalación de la planta, construcción y habilidades del grupo responsable de su desarrollo. El nuevo director implementó algunos cambios que retrasaron el trabajo por casi tres años más. En el sexenio del presidente Luis Echeverría la CFE cambió tres veces de administración, con otros tantos cambios de equipos humanos y de criterios. La última de esas administraciones, la que más duró,

<sup>11</sup> Eibenschutz, J., *op. cit.*, p. 248.

sustituyó a algunos técnicos extranjeros, encargados de cuestiones críticas del diseño e instalación de Laguna Verde, por técnicos mexicanos sólo para volver al punto de partida en breve tiempo. Los feudos políticos, dentro y fuera de la CFE, como les llamara José López Portillo a su paso por esta dependencia, y su secuela de contrataciones-cancelaciones-contrataciones de proveedores y constructores han sido otro de los factores favorecedores de la fragmentación de decisiones y por lo tanto del encarecimiento de Laguna Verde. De estos problemas derivaron otros. Cuando la administración del presidente López Portillo se hizo cargo del proyecto, la compañía originalmente contratada para la construcción, transfirió sus oficinas a Nueva York, lo que produjo otro considerable retraso en el proyecto y disminuyó seriamente las posibilidades de agilizar la transferencia de tecnología. En el orden económico la nucleoelectrica ha sufrido varios impactos de los procesos de inflación, recesión y devaluación de los últimos años.

La problemática que ha enfrentado el proyecto en el exterior ha sido de orden político. Los giros en las políticas de exportación de los proveedores de tecnología han tenido un impacto nada despreciable tanto en la conceptualización del proyecto como en su implementación. Si se agrega a esto último los problemas técnicos que han surgido en la construcción de la planta, lo más probable es que en el futuro Laguna Verde enfrente problemas de licenciamiento debido a los cambios originados en algunos diseños y a la pérdida de control de calidad en su construcción. Al contratarse las unidades de Laguna Verde se convino que el licenciamiento fuera otorgado en el país de origen del proveedor. Como el diseño es General Electric Mark II, corresponde a la U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) la decisión de autorizar la entrada en operación de la planta. Entre algunos responsables del proyecto se cree que el problema más grave que enfrentará la planta será precisamente su licenciamiento por parte de las autoridades norteamericanas.<sup>12</sup> Laguna Verde ha sido una experiencia negativa en la mayoría de los renglones básicos que justificaron la decisión gubernamental de instalarla.

Uno de los elementos primarios que racionalizaron la decisión de instalar la primera planta nucleoelectrica mexicana fue la necesidad de cubrir con ella, a partir de 1976, la demanda anual de electricidad en los sistemas interconectados del sur del país. La obra lleva siete años de retraso y no será sino hasta 1985 que entre en operación debido a los problemas ya mencionados, pero fundamentalmente debido a los recortes presupuestales implementados por el gobierno.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> *Ibid.*, p. 254.

<sup>13</sup> José Andrés de Oteyza: "En Laguna Verde habrá operaciones hasta 1985", nota de Marco a Mares, *Uno más Uno*, 26 de junio de 1982.

La meta de sustituir anualmente 8 millones de combustóleo por materiales nucleares, según una consideración de peso en la decisión de la planta nucleoelectrica, a partir de su entrada en operación (1976) no se ha cumplido, lo que representará, ya en el momento de operar la planta en 1985, una pérdida de sustitución de 72 millones de barriles de combustóleo. La consideración de sustituir hidrocarburos por materiales nucleares obedeció a las necesidades energéticas del México de 1971, pero debido al retraso señalado en la operación de la planta y a los últimos descubrimientos de grandes reservas de hidrocarburos, así como a los costos de escalamiento de las plantas nucleares, la sustitución de hidrocarburos resulta ser un objetivo menos imperioso. Cabe hacer notar el monto y por lo tanto la importancia de las reservas descubiertas. En 1979 la producción anual de combustóleo fue de 86 684 000 barriles<sup>14</sup> y en diciembre de 1981 las reservas probadas de hidrocarburos ascendieron a 72 008 millones de barriles. Estas reservas están integradas por 48 084 millones de barriles de crudo (67%); 8 915 millones de barriles de líquidos del gas (12%) y gas seco equivalente a 15 009 millones de barriles de crudo (21%).<sup>15</sup> La producción anual de gas durante 1981 fue de 1 482 196 millones de pies cúbicos, y la producción promedio diaria de gas fue de 4 060.8 millones de pies cúbicos.<sup>16</sup> En la actualidad se exportan diariamente 300 millones de pies cúbicos y podría aumentar este volumen de exportación hasta los 600 millones de pies cúbicos.<sup>17</sup>

Respecto a los costos de inversión de Laguna Verde, éstos han escalado con creces debido tanto al aumento de los costos de la planta nuclear, de las instalaciones que se le asocian, de los precios del combustible y de su enriquecimiento como a la inflación que sufre el país desde hace años. En febrero de 1971 el costo de la planta nucleoelectrica, incluyendo la primera carga de combustible, se estimó en 128 millones de dólares,<sup>18</sup> cuatro años después dicha estimación aumentó hasta casi 480 millones de dólares, y en 1979 el costo total estimado fluctuaba alrededor de 1 405 millones de dólares. Nadie sabe a ciencia cierta a cuanto ascenderá el costo total de la primera nucleoelectrica una vez que entre en operación, pero últimamente se han adelantado otras cifras. En diciembre de 1981, meses antes de devaluarse drásticamente la moneda en un 50%, se estimaba, no oficialmente, que su costo ascendería a 1 830 millones

<sup>14</sup> SPP, *La industria petrolera en México*, México, 1980.

<sup>15</sup> PEMEX, *Memoria de labores*, 1981, p. 7.

<sup>16</sup> *Ibid.*, p. 79.

<sup>17</sup> "Mexico's Expanding Role in World Oil Markets" en *Petroleum Intelligence Weekly*, Special Supplement, 28 de junio de 1982.

<sup>18</sup> "Dictamen 1971".

de dólares.<sup>19</sup> Otra cifra era de 1 525 millones de dólares.<sup>20</sup> El director del proyecto, Agustín Pérez Ruiz ha censurado las estimaciones acerca del costo del proyecto ya que, señala, resultan arbitrarias, pues a fin de hacerlas de acuerdo con la realidad sería necesario efectuar un estudio para determinar un valor real de lo que se ha invertido. No obstante lo anterior, señaló que en Laguna Verde se han invertido hasta ahora cerca de 710 millones de dólares, de los que, en este año, se han aplicado alrededor de 82 millones de dólares, debido a que constituye el programa prioritario de la Comisión Federal de Electricidad.<sup>21</sup> Seguramente los aumentos continuarán debido al atraso que lleva la planta, a la recesión económica del país y al monto de los intereses acumulados, ya que entrará en operación 9 años después de lo programado si no hay más obstáculos. Otro factor a tomarse en cuenta que afectará los costos de operación de Laguna Verde, será el aumento en los precios del enriquecimiento del uranio si las tendencias que anotamos continúan. Los precios en algunas fechas seleccionadas han sido los siguientes:

1973: 36 dólares por Uts*	1978: 88 dólares por Uts
1974 43 dólares por Uts	1979: 100 dólares por Uts
1975: 54 dólares por Uts	1980: 110 dólares por Uts
1976 62 dólares por Uts	1982: 139-159 dólares por Uts
1977: 74 dólares por Uts	

Esto significa que este costo ha venido creciendo a una tasa anual promedio de 17%, es decir, una tasa bastante más alta que la inflación de los países donde se realiza el proceso. En otras palabras, el enriquecimiento se ha estado encareciendo en términos reales en forma acelerada.<sup>22</sup>

Respecto a la garantía en el enriquecimiento y suministro del combustible para Laguna Verde, mediante un convenio con el Organismo

<sup>19</sup> "Mil millones de pesos requerirá Laguna Verde", *Uno más Uno*, 12 de octubre de 1981.

<sup>20</sup> "Cuarenta mil millones de pesos, el costo total de la planta de Laguna Verde", nota de Humberto Aranda, *Excelsior*, 16 de diciembre de 1981.

<sup>21</sup> "En Laguna Verde disminuyeron hasta 10 por ciento las obras como consecuencia de la crisis económica", nota de Abelardo Martín, *Uno más Uno*, 21 de julio de 1982.

<sup>22</sup> Véase Large Arlen J., "Why the Price of Atomic Fuel Keeps Rising", *The Wall Street Journal*, 2 de julio de 1981; y Ponce Antonio, "Energía nuclear, el precio del enriquecimiento", *Uno más Uno*, 4 de abril de 1982.

\*El trabajo para enriquecer uranio se mide en "unidades de trabajo separativo" (Uts). Cada reactor de uranio enriquecido, según su tipo, según qué tanto opere durante el año y según su potencia, consume diferentes cantidades de Uts por año.

Internacional de Energía Atómica, se han presentado algunos obstáculos debido, fundamentalmente, a las limitaciones impuestas por la política norteamericana de no proliferación nuclear.

El 12 de febrero de 1974 el gobierno mexicano firmó dos acuerdos: uno bilateral (México-OIEA) para garantizarse la asistencia del Organismo Internacional de Energía Atómica en la instalación de la primera planta nucleoelectrónica mexicana en Laguna Verde, cerca de Alto Lucero, estado de Veracruz.<sup>23</sup> El otro acuerdo fue trilateral (México-OIEA-EU) para asegurar el abastecimiento de uranio enriquecido y en él la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos, mediante el Acuerdo de Cooperación establecido con el OIEA, se obliga a suministrar al Organismo ciertos servicios de enriquecimiento de uranio para la unidad número uno de la planta nuclear de Laguna Verde. La implementación de este acuerdo se hizo mediante un contrato de largo plazo donde se especificaron los términos y condiciones particulares para el abastecimiento de los servicios de enriquecimiento de uranio,\* incluyendo el precio de los servicios y los pagos por adelantado.<sup>24</sup>

Cuatro meses después de la firma del primer acuerdo trilateral, el 14 de junio de 1974, se firmó un segundo acuerdo de la misma naturaleza del primero, pero con algunas enmiendas para incluir en el articulado la segun-

<sup>23</sup> En este acuerdo bilateral, tres artículos son de relevancia particular. En el artículo II el OIEA se obliga a solicitar a Estados Unidos la transferencia y exportación a México tanto del reactor y sus componentes como de las partes de refacción, de acuerdo al contrato celebrado entre México y el proveedor norteamericano contratado. El artículo IV hace referencia a las medidas de seguridad y salvaguarda acordadas entre el OIEA y el gobierno de México. En el apartado 1, México se obliga a que ni el reactor ni el material nuclear contenido, usado, producido o procesado en o por el uso del reactor, se utilizarán con propósitos militares. En el apartado 2 el gobierno mexicano se obliga a respetar los acuerdos logrados con el OIEA para la aplicación de salvaguardas en relación con el Tratado para la Prohibición de Armas Nucleares en América Latina, y con el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares firmado el 27 de septiembre de 1972. Véase: AIEA, *II Agreement Between the International Atomic Energy Agency and the Government of the United Mexican States for Assistance by the Agency in Establishing a Nuclear Power Facility*, Doc. INFCIRC/203, Viena, 5 de abril de 1974.

\*Enriquecimiento del uranio es el procedimiento por medio del cual se altera físicamente el uranio, hasta lograr una mezcla más rica del isótopo fisible uranio 235.

<sup>24</sup> En el artículo 1, apartado 2, la Comisión y el gobierno mexicano acordaron en dos aspectos fundamentales para la operación de Laguna Verde: a) en un programa de servicio de enriquecimiento donde se especificaron el número de unidades de trabajo separativo que debería de proveer la Comisión a México y la entrega de éstas durante un periodo fijo que se iniciaría en 1976 y terminaría en 1986; b) en los procedimientos adecuados para especificar las cantidades (kg) y fechas de entrega tentativas tanto de uranio 238, por parte de México, como del porcentaje de peso de uranio 235, por parte de Estados Unidos. El artículo III, apartado 2, se refiere a los términos de entrega de materiales nucleares. En él se señala que los arreglos para la exportación de todos los materiales entregados por la Comisión de Energía Atómi-

da mitad a instalarse en Laguna Verde, según decisión del gobierno mexicano.<sup>25</sup>

El 31 de agosto de 1977 la General Electric Company solicitó al gobierno de su país, con el estricto apego a los acuerdos ya mencionados, una licencia para exportar a México 9 691 kg de uranio 235 contenidos en 377 600 kg de dióxido de uranio enriquecido a un máximo del 4%.

El dióxido de uranio, con bajo nivel de enriquecimiento, sería procesado y ensamblado para utilizarse como la primera carga de combustible para los reactores 1 y 2 de Laguna Verde. Inicialmente cada unidad sería cargada con 444 paquetes de barras de combustible con 81 000 kilogramos de uranio.<sup>26</sup> El primer embarque estaba programado para diciembre de 1978 previa expedición de la licencia de exportación.

Una vez que la petición de la General Electric llegó al Departamento de Estado, se procedió a averiguar en qué medida la solicitud cumplía con las políticas de exportación de material nuclear vigentes en el Acuerdo de Cooperación entre el OIEA y Estados Unidos; a partir de lo cual se reconoció que el gobierno mexicano se ajustaba a todos los requerimientos del acuerdo trilateral establecido en materia de transferencia de tecnología nuclear; por lo que el Ejecutivo norteamericano recomendaba la expedición de la licencia correspondiente. En esta recomendación hubo dos consideraciones adicionales de mucho peso a favor de México. Por un lado estaba el Reporte Especial de Implementación de Salvaguardas del OIEA donde se anotaba el cumplimiento de México con las medidas de seguridad impuestas por el Organismo para garantizar la no utilización de materiales nucleares para fines militares. Por otra parte estaba el papel activo y constructivo de México en todas las cuestiones de no proliferación de armas nucleares y de desarme nuclear. Además de que México había sido uno de los países que primero ratificaron el Tratado de No Proliferación Nuclear y quizá el más entusiasta promotor del Tratado de Tlatelolco. Aunado a lo anterior, México jugaba un papel importante e influyente entre los países no alineados pertenecientes a las organizaciones internacionales, incluyendo el OIEA. En vista de estas consideraciones el Ejecutivo norteamericano

---

ca de Estados Unidos, son responsabilidad de México, previa autorización del gobierno de Estados Unidos para toda licencia o permisos de exportación. Respecto a la terminación, suspensión o enmienda del contrato a largo plazo, en él se estipuló que cualesquiera de esas acciones deberían notificarse conjuntamente al OIEA y *que las partes del Acuerdo deberían consultarse en caso de alguna enmienda correspondiente*, (artículo VI, apartado 2), (subrayado del autor). Véase: AIEA, *I. Agreement for the Supply of Uranium Enrichment Services for a Nuclear Power Facility in Mexico*. Doc. INFCIRC/203, Viena, 5 de abril de 1974, pp 1, 3.

<sup>25</sup> IAEA, *Agreement for the Supply of Uranium Enrichment Services for a Second Reactor Unit for a Nuclear Power Facility in Mexico*, Doc. INFCIRC/203, Add. 1, Viena, 31 de octubre de 1974.

<sup>26</sup> Nuclear Regulatory Commission, document XSNM-1194, 2 de marzo de 1979.

recomendaba, por ser de particular importancia para la política de no proliferación nuclear y para las relaciones bilaterales México-Estados Unidos, que no se retrasara más la expedición de la licencia correspondiente a la exportación del combustible nuclear para Laguna Verde.

No obstante esta y otras recomendaciones el 19 de enero de 1978 el gobierno de Estados Unidos canceló temporalmente el compromiso trilateral (OIEA-México-Estados Unidos) de suministrar a México uranio enriquecido, hasta que este último no diera garantías al gobierno norteamericano de que se abstendría de reprocesar el combustible ya quemado en la nucleoelectrica. Otra garantía exigida por el gobierno norteamericano demandaba que el gobierno mexicano aceptase el derecho de visita, inspección y supervisión directa de las instalaciones nucleares mexicanas por elementos del gobierno norteamericano. Todo esto sucedía mientras en el Senado y en la Cámara de Representantes se estudiaba un proyecto de Ley enviado por el Ejecutivo norteamericano para evitar la proliferación de armas nucleares. En estas circunstancias la petición del combustible para Laguna Verde fue bloqueada el 10 de marzo de 1978 por la entrada en vigor de la Ley de No Proliferación Nuclear, iniciativa del presidente Carter. A partir de la votación de esta Ley, se suspendieron formalmente los trámites de la licencia de exportación y consecuentemente la entrega del combustible al gobierno mexicano. La aplicación de la nueva ley se hizo con efecto retroactivo violando un arreglo internacional ya formalizado y tratando de imponer medidas de supervisión y control directo, sobre las actividades nucleares mexicanas, medidas más rígidas que aquellas impuestas por el propio Organismo Internacional de Energía Atómica, encargado, en primera instancia, de evitar la proliferación de armas nucleares.<sup>27</sup>

En realidad, para el caso de México, los nuevos criterios para la exportación de materiales nucleares tuvieron efectividad no desde el momento en que el Congreso votó la Ley de No Proliferación Nuclear de 1978, sino desde que ésta llegó como proyecto de Ley al Congreso el 27 de abril de 1977. Sólo de esta manera se puede explicar la moratoria en la licencia de exportación del uranio enriquecido para México en el periodo comprendido entre la solicitud formal (31 de agosto de 1977) y la aprobación de dicha Ley (10 de marzo de 1978).

<sup>27</sup> El artículo IV de dicha Ley ha sido el más problemático tanto para los países desarrollados como para los subdesarrollados con programas nucleares. En él se prevén algunos requerimientos adicionales para la autorización de licencias de exportación de materiales y equipo nuclear. En la sección 404 (a) se anticipaba que inmediatamente después de entrar en vigor la Ley de No Proliferación Nuclear, el Presidente debería iniciar un programa de renegociación de los acuerdos de cooperación anteriores pero vigentes o en su defecto obtener el acuerdo de las partes respecto a los nuevos requisitos a cubrir para futuros acuerdos de cooperación en el marco de la Ley de Energía Atómica para 1954.

Las respuestas nacionales e internacionales a la Ley de No Proliferación Nuclear del presidente Carter fueron de profundo rechazo tanto dentro como fuera de Estados Unidos. En el panorama norteamericano la industria nuclear vio en la política de Carter un obstáculo a sus exportaciones y una falta de apoyo al desarrollo de mejores tecnologías nucleares. La visión de la industria nuclear norteamericana se sintetizaba en las palabras de Dwight Porter, ex embajador norteamericano en el OIEA y actual empleado de la Westinghouse en Washington, D.C.: "La administración (de Carter) nunca ha prestado apoyo a las exportaciones nucleares y es, posiblemente, un poco menos que hostil para con ellas."<sup>28</sup> Porter también se quejó de que la licencia de exportación para la venta del reactor nuclear destinado a una planta de Filipinas: "estaba encasillada en el Departamento de Estado, mientras en el Departamento de Comercio se retrasaba la aprobación de venta de materiales no nucleares para la misma planta", además agregaba "en mi opinión esto no es el resultado de una decisión de política sino el ejemplo de la parálisis vigente en esta administración"<sup>29</sup> En Estados Unidos la mayoría de las críticas a la política de no proliferación nuclear de Carter señalaban el efecto negativo de ésta en las ya de por sí dramáticas condiciones de la industria nuclear norteamericana respecto a nuevos pedidos. Los disidentes acusaron al Presidente y al Congreso de crear, con la nueva reglamentación de las exportaciones nucleares, un ambiente de incertidumbre y resentimiento en la comunidad nuclear.<sup>30</sup>

La reacción de México a la política de no proliferación de Carter fue también negativa como la de muchos otros países del Tercer Mundo con programas nucleares en desarrollo o en operación, por ser esta política unilateral y violatoria de acuerdos ya establecidos para la transferencia de tecnología crítica para el uso pacífico de la energía nuclear. La prensa mexicana hizo eco de la posición oficial del gobierno y de las exacerbadas críticas a la política nuclear norteamericana hechas por algunos líderes de opinión y sindicatos del sector energético mexicano. Hubo inclusive quienes interpretaron la aplicación de la política nuclear de Carter hacia México como una forma de presión de Estados Unidos para conseguir más volumen y mejores precios en la compra del gas mexicano.<sup>31</sup>

La respuesta mexicana fue vehemente, no por el daño que la nueva política nuclear pudiera causar a Laguna Verde, mediante la revisión de los

<sup>28</sup> Lanovette, William J., "U.S. Nuclear Industry can't Expect Much Help from Abroad", *National Journal*, 21 de julio de 1979, p. 1209.

<sup>29</sup> *Ibid.*, p. 1209.

<sup>30</sup> Granger John V., *Technology and International Relations*, San Francisco, Cal., W.H. Freeman and Co., 1979, p. 152.

<sup>31</sup> Opina John C. Griffins: "El embargo de uranio, presión de E.U. para comprar gas barato", *El Sol de México*, 30 de enero de 1978.

convenios establecidos para el suministro del combustible de la planta —pues ésta ya contaba con un retraso de dos años en su construcción y por lo tanto no estaba lista para “aceptar” el uranio enriquecido— sino por la violación norteamericana de las prácticas establecidas entre los miembros de la comunidad internacional, y por contravenir los compromisos asumidos por el gobierno norteamericano al suscribir el Tratado sobre la No Proliferación de Armas Nucleares de 1968.<sup>32</sup>

Ante la respuesta mexicana a la posible aplicación del artículo de la ley nuclear de Carter, el 29 de diciembre de 1978 el subsecretario del Departamento de Estado, Louis V. Nosenzo, envió un memorándum a James R. Shea, funcionario de la Nuclear Regulatory Commission, urgiéndole a la expedición de la licencia de exportación del uranio enriquecido para México, señalándole que de retrasarse más allá del 31 de diciembre de 1978 la exportación del combustible nuclear, ésto obligaría a la Comisión Federal de Electricidad al pago de 30 000 a 40 000 dólares mensuales por concepto de almacenamiento de combustible, a partir de esa fecha, lo que con toda seguridad afectaría negativamente las relaciones entre México y Estados Unidos, así como el apoyo mexicano a las metas conjuntas de no proliferación nuclear.<sup>33</sup>

La petición del Departamento de Estado a la Comisión Reguladora de Energía Nuclear se apoyaba en el análisis elaborado por dicho Departamento en el que, de acuerdo con la Ley de No Proliferación Nuclear de 1978, se señalaba el cumplimiento de México a todos los requisitos de exportación de material nuclear contemplados en la Ley de Energía Atómica de 1954,<sup>34</sup> enmendada en 1978, por lo que la exportación a México del

<sup>32</sup> En efecto, el artículo IV dispone, en su párrafo uno, que nada en ese tratado deberá interpretarse como algo que pueda afectar los derechos inalienables de los estados signatarios para desarrollar investigación, producción y uso de la energía nuclear para fines pacíficos, sin discriminación y en conformidad con los artículos I y II de ese mismo Tratado. En el párrafo 2 señala que “todos los estados partes del Tratado se comprometen a facilitar y a tener acceso al mayor intercambio posible de equipo, materiales e información tecnológica y científica para los usos pacíficos de la energía nuclear. Las partes del Tratado que estén en posición de hacerlo, deberán cooperar para contribuir, por sí solas o junto con otros estados u organizaciones internacionales, al mayor desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, especialmente en los territorios de los estados signatarios no poseedores de armas nucleares, tomando en consideración las necesidades de las regiones del mundo en desarrollo”. Véase: United States, Senate Committee on Governmental Affairs. Joint Committee Print: *Nuclear Proliferation Factbook*, 96th Congress, second session, septiembre de 1980, p. 465.

<sup>33</sup> Carta de Louis V. Nosenzo, subsecretario del Departamento de Estado, a James R. Shea, Director de la Oficina de Programas Internacionales de la Comisión Reguladora de Energía Nuclear (NRC), 29 de diciembre de 1978.

<sup>34</sup> En especial aquellos que se contemplan en las secciones 126 a (1), 127 y 128 de dicha Ley. Véase: U.S. Senate Committee on Governmental Affairs. Joint

combustible nuclear no sería una amenaza a la defensa y seguridad de Estados Unidos, además de que la licencia de exportación cumplía ampliamente con los términos del Acuerdo de Cooperación entre Estados Unidos y el OIEA. Por otro lado, México, por su parte, respetaba el espíritu y la letra tanto del Acuerdo de Cooperación trilateral como del Proyecto de Acuerdo de Cooperación nuclear con el OIEA.<sup>35</sup>

El 4 de enero de 1979 el Departamento de Estado envió otro memorándum a la Comisión Reguladora de Energía Nuclear, presionando, una vez más, para la pronta expedición de la licencia en cuestión. Finalmente, el 14 de enero de 1979, después de que la Comisión Reguladora volvió a verificar que México cumplía con todos los requisitos para la licencia de exportación y, aún más, que se excedía en el cumplimiento de las medidas de seguridad física requeridas por el OIEA, y en vista de la urgencia expresada por el Departamento de Estado y el gobierno mexicano, se expidió la licencia a la General Electric Company para la exportación del combustible para la primera carga, y cinco más, de Laguna Verde.<sup>36</sup>

Otro argumento de peso en la decisión de Laguna Verde fue que el fomento al desarrollo de una mayor integración tecnológica, mediante la instalación de la nucleoelectrica, favorecería la fabricación en México de ciertos bienes de capital para el sector eléctrico, lo que propiciaría la industrialización con independencia externa, contribuyendo así a la generación de empleos, a la superación del déficit comercial, a elevar el nivel tecnológico y a integrar vertical y horizontalmente a la industria mexicana.<sup>37</sup>

Entre ciertos cuadros técnicos existe el punto de vista de que el aprendizaje con Laguna Verde tiene un costo que es necesario aceptar. Argumentan, no sin razón, que la experiencia así adquirida representa para el país un costo elevado, ya que el equipo construido en México tendrá precios más elevados que si se adquiriera "llave en mano" en el extranjero. Sin embargo, continúan argumentando, Laguna Verde nos posibilita avanzar tecnológicamente hacia una mayor integración e independencia y, finalmente, a producir equipos con mayor grado de sofisticación para el futuro desarrollo de un programa nucleoelectrico.

---

Committee Print: *Nuclear Proliferation Factbook*, 96th Congress, second session, septiembre de 1980, pp 51-57.

<sup>35</sup> *Ibid.*

<sup>36</sup> Nuclear Regulatory Commission Document CECY-79-121, 14 de febrero de 1979.

<sup>37</sup> Ibarrola, Eduardo, "La integración nacional de maquinaria y equipo utilizados por el sector eléctrico". Ponencia presentada en la novena mesa de trabajo: Energía e Industrialización, de la reunión popular: *Los energéticos en la industrialización y sus impactos regionales*, IEPES, Consulta Popular para la Planeación de Energéticos y Desarrollo Nacional, México, D.F., 25 de mayo de 1982.

¿Cuál ha sido la experiencia en ese sentido? En Laguna Verde el grueso significativo de su demanda tecnológica no ha podido satisfacerse ni mínimamente con la producción nacional, debido a los formidables problemas que se tienen que resolver para cumplir con los requerimientos propios de esta tecnología. Uno de tales problemas se vincula a la problemática más general de la industria mexicana de bienes de capital donde se observan rezagos al principio y al final de los ciclos de producción de equipos, es decir, en materiales y laboratorios de pruebas. Como resultado de lo anterior, muchos problemas de fabricación nacional se refieren a la maquila de componentes importados que deben regresar al país de origen de la tecnología para terminar su fabricación y ser sometidos a pruebas.<sup>38</sup>

El subgerente de Evaluación y Estudios Económicos de la CFE, José Luis Aburto Ávila, señala que “una idea de la complejidad del paso a dar en la asimilación de alta tecnología se obtiene al comparar una característica, la vida económica de los equipos que se fabrican actualmente en México con los que se pretende fabricar en el futuro. El motor de un auto tiene una vida económica de entre 7 000 y 12 000 horas; otro equipo rotatorio, un turbogenerador, alcanza una vida económica de entre 130 000 y 170 000 horas, es decir, unas 15 veces mayor. Las demandas que este hecho exige sobre la calidad de los materiales y los procesos de fabricación son muy considerables. Su superación requiere de proyectos bien fundamentados desde su concepción y durante todo su desarrollo, contando con la participación activa del Gobierno, el sector eléctrico y los fabricantes nacionales”<sup>39</sup> en el marco, agregaríamos, de una política científica y tecnológica favorecedora del dominio y desarrollo sostenido de tecnologías de amplio grado de complejidad.

En la conceptualización de la integración de tecnología nuclear se parte de una serie de supuestos que en la actualidad todavía no se cumplen del todo. Uno de ellos es el de que la tecnología nuclear está disponible, como cualquier mercancía, a quien pueda adquirirla. El hecho es que entre quienes la poseen surge el dilema, de cómo promoverla sin favorecer su difusión y con ello —argumentan— la proliferación de armas nucleares. Al intentar resolver esta incompatibilidad de objetivos han ensayado políticas de transferencia de tecnología muy estrictas, o medianamente estrictas, según convenga al caso, así como algunos intentos de cartelización

<sup>38</sup> Aburto Ávila, José Luis, “Costos y beneficios de la fabricación nacional de maquinaria y equipos para el sector eléctrico”, ponencia presentada en la novena mesa de trabajo: Energía e Industrialización, de la reunión popular sobre *Los energéticos en la industrialización y sus impactos regionales*, IEPES, Consulta Popular para la Planeación de Energéticos y Desarrollo Nacional, México, D.F., 25 de mayo de 1982.

<sup>39</sup> *Ibid.*

de la tecnología y los combustibles nucleares, el Club de Londres podría ser un ejemplo de esto último. El resultado de estas medidas, de tiempo en tiempo, ha sido la inhibición del flujo internacional de tecnología nuclear.

La integración nacional de tecnología nuclear está condicionada por factores sociales, económicos, tecnológicos y políticos, tanto del propio país como del exterior. En cuanto a los factores sociales México aún no cuenta con una "masa crítica" de recursos humanos disponible para la investigación básica y aplicada en el campo de las tecnologías nucleares de gran envergadura. En el ámbito económico la integración encuentra competidores formidables en otras prioridades nacionales que demandan cuantiosas inversiones de capital. La instalación de una planta nucleoelectrica requiere costos de capital muy elevados para los países que las producen y aún más para los países en vía de desarrollo que las importan o pretenden sustituirlas paulatinamente. Se cae en excesos con proyectos de sustitución de importaciones en los que se paga más en el exterior por los componentes importados de los equipos y por los servicios de deuda exterior vinculados a la compra de los equipos parcialmente fabricados en el país, que por la importación directa de los equipos completos, con sus financiamientos de proveedores. El balance de divisas para el país es más negativo aún si se consideran las importaciones requeridas por el fabricante nacional.<sup>40</sup>

La integración de tecnología nuclear encuentra otro obstáculo en los financiamientos otorgados por las instituciones internacionales de crédito, en la medida en que éstos condicionan el tipo de tecnología a transferir y los términos en que se hacen las negociaciones.

## Conclusiones

Los criterios fundamentales y las consideraciones que legitimaron la instalación de la primera nucleoelectrica mexicana, han resultado inválidos a la luz de la experiencia. El objetivo fundamental de Laguna Verde, la satisfacción oportuna, suficiente y económica de una parte de la demanda de energía eléctrica, no se podrá cumplir debido a que la planta entrará en operación con nueve años de retraso y con un incremento, en términos reales, de los costos tanto de instalación como de operación.

A la fecha el balance del primer proyecto nucleoelectrico mexicano es negativo, y se explica a partir del hecho simple de que nació en un contexto social, técnico y político que dista mucho todavía de favorecer

<sup>40</sup> *Ibid.*

optimamente la realización de proyectos como éste. Nació en un periodo en que el país sufría un déficit energético pero también un déficit de recursos tecnológicos, financieros, humanos y de infraestructura que condenaban anticipadamente al fracaso la satisfacción oportuna de la demanda energética por la vía nuclear. El proyecto se inició, con los auspicios de sus promotores nacionales y extranjeros, sin organización adecuada, sin evaluación integral de alternativas de energía y de tecnología abiertas para México, sin un inventario realista de la capacidad nacional que garantizara mínimamente un éxito razonable y, fundamentalmente, sin conciencia de que la instalación de una planta nucleoelectrica ofrece complicaciones que no se avienen con la improvisación ni con los ritmos y hábitos dedicados por las vicisitudes políticas del México contemporáneo.

El intento de incorporar la tecnología nuclear como instrumento para el desarrollo nacional se ha dado en forma apresurada y disruptiva de la economía del sector energético y por lo tanto de la economía nacional.

Oficialmente, el gasto incurrido hasta la fecha en el proyecto Laguna Verde asciende de 33 000 millones de pesos a precios corrientes, gasto que traducido a precios de 1971 representaría alrededor de tres veces el costo total estimado inicialmente. Cabe advertir que tal vez esta estimación del gasto incurrido sea por debajo del gasto total, debido a que es muy probable que omita los egresos de ciertas partidas. La ausencia de información detallada sobre los gastos efectuados en el periodo de construcción no permite presentar el monto de la inversión total, por lo que las cifras aquí mencionadas sólo son una aproximación.

Los resultados de Laguna Verde son los resultados del desarrollo nuclear en cualquier país en vía de desarrollo con carencias similares a las nuestras. Indudablemente el país ha ganado en experiencia al emprender la construcción de una planta nuclear pero todavía la participación nacional es limitada debido precisamente a las carencias técnico-científicas y de recursos humanos ya mencionadas. Esto hace que Laguna Verde sea el punto de partida para una reflexión urgente y profunda acerca de la conveniencia para el país, de elaborar programas nucleares cuyas metas distan mucho de ser conmensurables con los medios de que dispone el país.



## EL CARBÓN EN MÉXICO

*Miguel Castañeda y  
Roberto Yza*

De 1921 a 1940 proliferaron en México las pequeñas compañías carboníferas y se iniciaron algunas de mayor importancia, siendo la producción acumulativa de 32 millones de toneladas de carbón, casi todo coquizable y proveniente del estado de Coahuila.

En décadas posteriores, el rápido desarrollo de la industria siderúrgica y de la minero-metalúrgica originó un sólido mercado interno de carbón.

A partir de 1960, México inicia la utilización del carbón para generar electricidad, siendo encomendada a la Comisión Federal de Electricidad la tarea de explorar sistemáticamente la cuenca carbonífera de Fuentes-Río Escondido, en el estado de Coahuila, que culminó con la cuantificación de reservas suficientes para abastecer a la planta termoeléctrica de Nava, Coah., cuya capacidad instalada fue de 37.5 MW, operando hasta 1978.

Con esta actividad, la Comisión Federal de Electricidad desarrolló su propio departamento de exploración denominado "Estudios carboníferos del noreste", el cual, dentro del Programa Nacional del Carbón, continúa explorando la cuenca de Fuentes-Río Escondido y sigue llevando a cabo investigaciones en el Terciario de la región de Colombia-Nuevo Laredo, así como también en otras zonas de la República Mexicana.

La tendencia evolutiva de la producción de carbón más importante se inicia a partir de 1950 y se continúa hasta nuestros días como resultado del desarrollo de la industria siderúrgica, principal consumidor de esta materia prima.

### **Regiones carboníferas y evidencias de carbón en México**

En la República Mexicana existen diversas manifestaciones de carbón; sin embargo, sólo en tres estados se han cubicado reservas de carbón de importancia económica actual:

(Tomado de los tres primeros capítulos del *Plan Carboeléctrico Nacional*, elaborado por los ingenieros Miguel Castañeda y Roberto Yza, septiembre de 1982).

México: producción e importaciones de  
(tone)

	1970	1971	1972	1973
<b>Producción carbón</b>				
Producción de carbón no coquizable	121 000	85 000	110 000	118 000
Producción de carbón coquizable	2 838 024	3 427 595	3 503 929	4 145 137
Otros				
Total	2 959 024	3 512 595	3 613 929	4 263 137
<b>Producción coque</b>				
Producción de coque metalúrgico				
Producción de coque imperial				
Producción de coque fino				
Total	1 299 553	1 608 344	1 755 519	1 934 471
<b>Importaciones carbón</b>				
Importación de carbón lavado	151 018	262 173	379 829	229 963
Importación de lignitos y aglomerados	2 096		2 391	7 340
Importación de turbas	140		313	838
Importación de carbón de retorta	614		3	226
Importación de carbón activado	820			
Importación carbón activado (granular)				
Total	154 688	263 359	388 604	238 367
<b>Importaciones coque</b>				
Importación coque metalúrgico	340 322	68 156	132 467	140 232
Importación coque de brea			1 474	9 793
Importación coque de petróleo				
Otros				
Total	460 322	249 235	435 648	475 308

dro 1

carbón y sus derivados. 1970-1980  
(ladas)

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
181 255	176 839	156 152	247 863	154 806	64 234	330 830
4 983 784	5 013 709	5 493 476	6 362 360	6 600 750	7 294 696	6 792 000
700	2 900					
5 165 739	5 193 448	5 649 628	6 610 223	6 755 556	7 356 696	7 122 830
2 034 011	2 057 703	2 151 523	2 814 660	2 807 530	2 589 338	
16 885	12 480	20 775	12 069	11 195	13 444	
19 711	17 821	15 559	65 051	87 198	64 588	
2 070 607	2 088 004	2 187 857	2 891 780	2 905 923	3 052 899	2 409 228
365 459	447 030	88 460	624 991	759 801	733 540	823 000
2 613	3 315	3 000	4 195	5 290	7 539	
433	245	91	550	1 944	403	
784	3	273	245	455	202	
1 437	120	200	1 356	6 213	313	
	394	1 608	4 203	30 888	1 611	
370 726	451 107	93 652	635 540	804 591	743 608	
171 444	105 835	96 045	41 370	249 238	126 781	110 000
15 008	7 175	212	587	11 661	14 937	
133 472	166 682	97 652	177 267	321 471	188 103	
319 924	279 692	193 909	219 224	582 370	329 821	

Noreste del país, donde yace la mayor parte de las reservas conocidas, distribuidas en las cuencas Cretácicas Fuentes-Río Escondido y Sabinas, ambas en el estado de Coahuila, y en la cuenca Terciaria Colombia-Nuevo Laredo, en los estados de Nuevo León y Tamaulipas.

Noroeste (Sonora), donde se ubican la cuenca Cretácica de Cabullona, al norte del estado, y la cuenca de la Formación Barranca del Triásico-Jurásico que se extiende desde San Marcial hasta Alamos.

Sur, con las cuencas Tlaxiaco, Niltepec y Tezoatlán, todas del Jurásico y ubicadas en el estado de Oaxaca.

Las evidencias de carbón en los estados mencionados y otros de la República, se han investigado ocasionalmente y con poco estudio, tanto por grupos gubernamentales como privados, principalmente por el Consejo de Recursos Minerales, sin que a la fecha se hayan definido las características geológicas. A continuación se indican los lugares más importantes con evidencias carboníferas:

*Baja California Sur:* Manifestaciones de grafito en el área San Antonio El Triunfo.

*Coahuila:* Además de las áreas mencionadas, hay evidencias de carbón en Cuatro Ciénegas y en Los Álamos y presencia de turba en Parras.

*Chiapas:* Carbón bituminoso en Palenque y Tonalá.

*Chihuahua:* Existen varias localidades, considerándose muy importante el carbón sub-bituminoso de la cuenca de Ojinaga, la cual por su similitud geológica con las de Coahuila, actualmente está en exploración por parte de la Comisión Federal de Electricidad.

Las otras localidades son San Pedro Corralitos y la Calera, con manifestaciones de antracita, y Ciudad Juárez con presencia de lignito.

*Colima:* El lignito de Armería.

*Durango:* Se han reportado localidades con carbón bituminoso en las cercanías de Nazas, antracítico en las cercanías de Cuencamé, y carbón sin especificar su clasificación en Santiago Papasquiari.

*Guerrero:* En las cercanías de Chilpancingo se conocen algunas localidades con carbón y lignito.

*Hidalgo:* Existen varias evidencias de lignito y/o turba en Tehuichila, Zacualtípán y San Miguel Ocajichitlán, y otras localidades con carbón en las cercanías de Tulancingo, Ixtacamaxtitlán y Jacala.

*Jalisco:* Se conoce lignito en Etzatlán, turba en Sayula y carbón en Concepción de Buenos Aires.

*Estado de México:* Existencia de carbón en Chalco y Valle de Bravo.

*Michoacán:* Se ha reportado carbón bituminoso, antracita y lignito en la vecindad del poblado de Huetamo.

*Nayarit:* Existen manifestaciones de turba en las cercanías de Tepic.

*Nuevo León:* Además del carbón de la cuenca Terciaria Colombiana-Nuevo Laredo, existen evidencias de lignito y carbón bituminoso en el sur del estado, en las cercanías de Galena y Doctor Arroyo.

*Oaxaca:* Además del carbón de las cuencas Jurásicas ya mencionadas, hay evidencias de carbón bituminoso en la parte este del estado, en la vecindad de Niltepec.

*Puebla:* Presencia de carbones bituminosos en Ixtacamaxtitlán, San Martín Texmelucan, Acatlán y Tecamatlán, así como en Zautla.

*San Luis Potosí:* Se conoce la existencia de lignito en sedimentos Cretácicos en localidades cercanas a Xilitla, Coaxcatlán y Temexcalco, y hay manifestaciones de carbón sub-bituminoso en rocas del Terciario en las cercanías de Tamazunchale, sin interés aparente.

*Sonora:* Además de los carbones de las cuencas ya mencionadas, hay varias minas y evidencias de grafito en el área Alamos-San Bernardo.

*Tlaxcala:* Se tiene conocimiento de carbón en las cercanías de Huilapan, Huexoyucan y Tenetzontla.

*Veracruz:* Hay evidencias de carbón bituminoso en sedimentos Cretácicos en las cercanías de Pánuco, Tancasneque y Tempoal; existen manifestaciones de carbón sub-bituminoso en sedimentos Terciarios en el área de Chicontepec. Además, hay presencia de carbón en Yahualica, Ayuquila, Tlacolulan y Chinameca.

## Reservas y recursos

Las reservas y recursos de carbón con que cuenta el país son un tema muy discutido por la gran cantidad de criterios que existen tanto en su evaluación como en la terminología, lo que complica su interpretación cuantitativa, así como su definición cualitativa.

En el caso de las empresas de la industria siderúrgica, los criterios de evaluación difieren de una a otra, lo que acontece también en las dependencias del gobierno federal que exploran carbón. Estos criterios no se pondrán en discusión en este trabajo por lo amplio del tema.

Esto no se presenta sólo en México, ya que en la actualidad algunos países no hacen una distinción clara entre lo que son los recursos y las reservas. El *U.S. Geological Survey* define un recurso como "una concentración natural de material sólido, líquido o gaseoso, dentro o sobre la corteza terrestre, cuya extracción es realizable actualmente o en el futuro". Los recursos pueden ser divididos en *identificados* y en *no descubiertos*, con base en el conocimiento geológico que se tenga de ellos. Los recursos identificados incluyen a las reservas, las cuales se definen como "la porción

de un recurso identificado que puede ser explotado con rendimiento económico al tiempo de su clasificación”.

Para el caso particular que nos ocupa, se han adoptado los términos que se explican a continuación.

*Reserva probada.*— Es la cantidad de carbón que se calcula existe, a través del conocimiento que aportan las obras directas desarrolladas y/o los barrenos que se han dado con un espaciamiento tal, que las características geológicas, el tamaño, forma y composición del área estudiada, quedan perfectamente establecidas con una seguridad de más o menos 20 por ciento.

*Reserva probable.*— Es la cantidad de carbón definida por un control de extensión y correlación en el área estudiada y que se basa además en evidencias definidas por estudios de campo y/o barrenación, cuyo espaciamiento no permite incluirla dentro de las reservas probadas.

*Reserva posible.*— Es la cantidad de carbón estimada, basada en controles estratigráficos y estructurales, en interpretaciones indirectas (geofísicas), en evidencias dispersas, en los resultados de barrenos aislados, catas, etc., cuya precisión es menor que las estimaciones hechas en el caso de las reservas probables.

*Recurso adicional.*— Este concepto se referirá a la cantidad que se supone o se especula existe, basada en estudios preliminares desarrollados, en información recabada, en manifestaciones geológicas propias para la depositación, en la presencia de afloramientos, en correlaciones estratigráficas con las de otras regiones, etc.

*Reserva recuperable o aprovechable.*— Es la cantidad de carbón que se estima es susceptible de extraerse a la superficie y aprovecharse como materia prima, bajo condiciones tecnológicas y económicas en el momento de su evaluación, basadas en estudios de pre-factibilidad, de detalle, en experiencias regionales, etc.

*Potencial carbonífero.*— Es la suma de las cantidades estimadas en los conceptos anteriores.

Se hace notar que los conceptos anteriores quizás difieran en su concepción e interpretación respecto a conceptos definidos por otras entidades.

El carbón se clasifica de acuerdo a diversos sistemas, siendo el más importante el establecido por la ASTM, el cual se basa en la relación existente entre el carbono fijo y materias volátiles, en las características de aglomeración; además, para carbones de alto rango toma en cuenta el contenido de carbono fijo y materias volátiles sobre base seca y libre de cenizas; para carbones de bajo rango considera el poder calorífico sobre base húmeda y libre de cenizas.

Basándose en las relaciones mencionadas anteriormente, el carbón se clasifica de la siguiente manera:

Tipo de carbón	Contenido de carbón fijo en %	Contenido de materias volátiles en %
Antracita		
a) Meta-antracita	98 a 100	0 a 2
b) Antracita	92 a 98	2 a 8
c) Semi-antracita	86 a 92	8 a 14
Bituminoso		
a) Bajo en materias volátiles	78 a 86	14 a 22
b) Medio en materias volátiles	69 a 78	22 a 31
c) Alto en materias volátiles	69	31
Lignito	50 a 69	31 a 50

La existencia del carbón obedece a condiciones favorables a su formación.

En las regiones carboníferas conocidas en México, el carbón se clasifica de la siguiente manera:

Cuencas de Sabinas, Saltillo, Las Esperanzas y San Patricio en el estado de Coahuila:

Carbón bituminoso de volatilidad media a baja.

En su mayoría estos carbones presentan buenas características físicas de aglomeración, lo que permite su transformación en coque.

Región de Fuentes-Río Escondido en el estado de Coahuila:

Carbón bituminoso de volatilidad alta y flama larga.

En general, los carbones de esta región, por sus características físico-químicas, no son coquizables.

Región de Teozotlán-Mixtepec y Consuelo en Oaxaca:

Carbón antracítico, semi-antracítico y bituminoso.

Región de Santa Clara y de San Marcial en Sonora:

Carbón antracítico y meta-antracítico. En algunas zonas existe coque natural.

Los carbones de estas dos regiones no presentan características coquizables.

Para motivos de este trabajo, se considerarán en forma genérica dos tipos de carbón: coquizable y no coquizable, en función de sus propiedades y características de aglomeración y regionalización. El primero se utiliza en la fabricación de coque y es destinado a la industria sidero-metalúrgica; el segundo se usa en la generación de energía eléctrica.

## Reservas y recursos

### *Estado de Coahuila*

Actualmente sólo los yacimientos carboníferos de Coahuila se consideran los más importantes por sus reservas y recursos, derivados de los estudios que se han desarrollado.

En este estado existen dos regiones carboníferas: la de Sabinas, que se extiende hasta Monclova y que se divide en varias subcuencas, y la de Fuentes-Río Escondido, cuya extensión probable es desde Piedras Negras hasta la zona de San Ignacio, en el estado de Tamaulipas.

En la región de Sabinas el carbón en su mayor parte es de tipo coquizable y por lo tanto, reservado para satisfacer las necesidades de la creciente industria siderúrgica del norte del país. En lo referente a la segunda región, los carbones son de tipo bituminoso, de flama larga, considerados como no coquizables y aparentemente reservados para la generación de energía eléctrica.

En la región de Sabinas, según la secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, las reservas de carbón *in situ* del tipo coquizable a finales del año de 1980 eran de 1 500 millones de toneladas, cifra que se encuentra dentro de la realidad.

Sin embargo, el potencial probable de estas mismas reservas, complementario a las reservas probadas, es motivo de diversas especulaciones, que las hacen fluctuar entre los 800 y los 1 400 millones de toneladas. De verificarse las posibilidades que se manifiestan en la región de Sabinas, se tendrían reservas de carbón coquizable de 2 300 a 2 900 millones de toneladas *in situ*, que asegurarían ampliamente las demandas crecientes de la industria siderúrgica poco más allá del año 2010.

Con las reservas probadas a la fecha, se estima que la industria siderúrgica puede satisfacer sus necesidades al año 2000; por lo tanto, cuenta con 18 años para evaluar el potencial probable especulado por medio de los

programas de exploración, incrementando las reservas a un ritmo de 75 millones de toneladas anuales.

Por lo que respecta a la región de Fuentes-Río Escondido, los trabajos de exploración y estudios realizados por diferentes empresas a instituciones gubernamentales, permitieron cuantificar reservas probadas y probables *in situ*, a finales de 1980, como se indica a continuación (en millones de toneladas):

Reservas probadas	Rango A	Rango B	Totales
De 1960 - 1978	174	19	193
De 1978 - 1980	140	130	270
Reservas probables	40	123	163
T o t a l e s	354	272	626

Estas cifras se modificaron a finales de 1981, como resultado de los estudios y exploraciones realizadas por la CFE dentro de este año, con los resultados siguientes:

Reservas probadas Rangos A y B	576 millones de tons.
Reservas probables Rangos A y B	140 millones de tons.
Reservas posibles Rangos A y B	185 millones de tons.
T o t a l	901 millones de tons.

Las reservas clasificadas dentro del rango "A", corresponden a mantos cuya potencia o espesor es mayor de 1.30 m, y las del rango "B", corresponden a espesores entre 0.8 y 1.30 m.

Por otra parte, los mismos estudios han permitido estimar RECURSOS ADICIONALES en esta provincia del orden de 350 millones de toneladas *in situ*.

### *Estado de Tamaulipas*

En las cercanías de la ciudad de Nuevo Laredo, con los trabajos de barreración que se están realizando en la cuenca de Colombia-Nuevo Laredo, se han localizado los siguientes tonelajes de carbón:

Reservas probadas	44 millones de tons.
Reservas probables	55 millones de tons.
Reservas posibles	100 millones de tons.

Se aclara que el carbón encontrado en esta cuenca tiene aproximadamente 30 por ciento más poder calorífico que los carbones de Fuentes-Río Escondido.

Por las grandes dimensiones de la cuenca en estudio, así como por su favorabilidad geológica, se pueden considerar como recursos adicionales 500 millones de toneladas *in situ*.

### Estado de Oaxaca

Con los trabajos exploratorios del Programa Nacional del Carbón, desarrollado por el Consejo de Recursos Minerales, se evaluaron definitivamente reservas explotables en las cuencas El Consuelo-Tezoatlán. Sin terminar las exploraciones, se estiman reservas de 100 millones de toneladas, según un informe del propio CRM.

Por otra parte, la Comisión Federal de Electricidad ofrece las siguientes cifras, en millones de toneladas de carbón sub-bituminoso:

Área	Probadas	Probables	Posibles	Totales
Tezoatlán	—	30	30	60
Tlaxiaco	17	—	—	17
T o t a l	17	30	30	77

En otras informaciones se establece que el Consejo de Recursos Minerales, en el área de Tlaxiaco-Tezoatlán, con sus trabajos de perforación ha cubicado 100 millones de toneladas, y se especula un máximo de 200 millones de toneladas, pero se espera que el potencial sea mayor.

Además, en un informe del CRM de junio de 1980, relativo a los resultados de las exploraciones realizadas por el Plan Nacional de Exploración por Carbón, se indica que las reservas cubicadas eran como sigue:

Área San Juan Viejo	1.34 millones de tons.
Área Plaza de Lobos	7.62 millones de tons.
Área Plancha El Consuelo	2.36 millones de tons.
Área Numi	20.55 millones de tons.

Existe gran número de informaciones con respecto a las reservas existentes en Oaxaca, pero en todas ellas no hay uniformidad de datos. Existen discrepancias en las cifras y en la ubicación geográfica, derivadas quizás de la poca exploración efectuada, de que los trabajos se han realizado por diferentes empresas y organismos gubernamentales, así como por la falta de una exploración sistemática y por la inseguridad de las fuentes de información. Por lo tanto, la CFE decidió adoptar las siguientes cifras:

Reservas probadas	17 millones de tons.
Reservas probables	30 millones de tons.
Reservas posibles	30 millones de tons.
Recursos adicionales	200 millones de tons.

México: producción de carbón "todo uno", carbón lavado y coque, 1970-1980 (toneladas).

Años	Carbón "todo uno"	Carbón lavado	Coque
1970	2 959 024	1 345 130	1 299 553
1971	3 512 595	1 547 315	1 588 688
1972	3 613 929	1 587 752	1 755 519
1973	4 263 137	1 846 814	1 934 471
1974	5 165 739	2 203 884	2 070 697
1975	5 193 449	2 190 575	2 088 004
1976	5 649 628	2 449 384	2 187 857
1977	6 610 223	2 915 676	2 437 191
1978	6 755 556	3 084 564	2 490 923
1979	7 356 696	3 124 938	2 589 338
1980	7 122 830	2 681 000	2 409 228

### *Estado de Sonora*

En el estado de Sonora se presenta el caso similar al del estado de Oaxaca, y las cifras de reservas de carbón antracítico que manifiesta la Comisión Federal de Electricidad son las siguientes (en millones de toneladas):

Área	Probadas	Probables	Posibles	Totales
San Marcial	4	9	18	31
Santa Clara	2	—	71	73
T o t a l	6	9	89	104

El Consejo de Recursos Minerales indica que las reservas de carbón son las siguientes (en millones de toneladas):

Área	Probadas	Probables	Posibles	Totales
San Marcial				
Santa Clara	0.7	—	17.5	18.2
San Enrique	2.0	—	71.0	73.0
T o t a l	2.7	—	88.5	91.2

Como se aprecia en los cuadros de reservas, hay discrepancia en las cantidades de reservas, categorías, así como en las regiones; por tal motivo, para propósitos de este trabajo se consideran las siguientes cifras de reservas y recursos carboníferos, en las áreas de San Marcial, Santa Clara y San Enrique:

Reservas probadas	6 millones de tons.
Reservas probables	9 millones de tons.
Reservas posibles	160 millones de tons.
Recursos adicionales	100 millones de tons.

Por otra parte, los estudios que viene realizando la CFE dentro de un área de 6 400 km.<sup>2</sup>, denominada Cabullona, han permitido estimar 400 millones de toneladas de carbón de tipo sub-bituminoso *in situ*, enmarcado dentro de la categoría de Recursos Adicionales.

### *Estado de Chihuahua*

La cuenca carbonífera Ojinaga tiene un área de 3 000 km<sup>2</sup>, en los cuales se han explorado sitios aislados, lográndose estimar *in situ* 40 millones de toneladas posibles de carbón sub-bituminoso, y 400 millones de toneladas como recursos adicionales.

Cuadro 2

México: Reservas y recursos de carbón no coquizable,  
a junio de 1982  
(millones de toneladas *in situ*)

Estado y localidad (tipo de carbón)	Reservas			Recursos adicionales	Total
	probadas	probables	posibles		
T o t a l e s	643	244	515	1 750	3 152
COAHUILA					
Fuentes-Río Escondido (sub-bituminoso)	576	140	185	350	1 251
TAMAULIPAS					
Colombia-Nuevo Laredo	44	65	100	300	509
SONORA					
San Marcial (semiantracítico)	4	9	18	100	131
Santa Clara (semiantracítico)	2	--	71	--	73
San Enrique (semiantracítico)	--	--	71	--	71
Cabullona (sub-bituminoso)	--	--	--	400	400
CHIHUAHUA					
Ojinaga-San Carlos (sub-bituminoso)	--	--	40	250	290
San Pedro-Corralitos (sub-bituminoso)	--	--	--	150	150
OAXACA					
Tezoatlán y Tlaxiaco (sub-bituminoso a antracítico)	17	30	30	200	277

A la fecha, la Comisión Federal de Electricidad está desarrollando trabajos de exploración geológica regional en las áreas de Ojinaga-San Carlos y San Pedro Corralitos.

Se pretende que con los programas de exploración se pueda comprobar el tonelaje antes mencionado, así como incrementarlo por lo atractivo

de las regiones, a pesar de que entidades como el CRM han emitido opiniones contrarias, condenando las áreas mencionadas, como resultado de los estudios y exploraciones que han efectuado.

A continuación se resumen las cifras indicadas en el contexto anterior, en el cual puede observarse que a junio de 1982, las reservas y recursos estimados en el país de carbón no coquizable de diversos tipos, que pueden ser orientadas en la generación de energía eléctrica son:

Reservas probadas	643 millones de tons.
Reservas probables	244 millones de tons.
Reservas posibles	515 millones de tons.
Recursos adicionales	1 750 millones de tons.
<b>Total</b>	<b>3 152 millones de tons.</b>

Adicionalmente, se estima que dentro de este potencial puede y debe considerarse lo siguiente:

#### *Mixtos de lavadoras de carbón coquizable*

De acuerdo con un estudio elaborado por el Instituto de Investigaciones Siderúrgicas y el Instituto de Investigaciones Eléctricas, bajo el patrocinio de la Comisión de Energéticos, se consideró que si la industria siderúrgica continuara lavando carbón "todo uno" para obtener un producto lavado con 15 a 18 por ciento de cenizas y se obtuvieran dentro de las plantas lavadoras, mixtos hasta con 45 por ciento de ceniza, se podrían obtener 1 116 864 toneladas de éstos, con un poder calorífico de 4 500 kcal/kg., con la producción de carbón coquizable de 1979.

Con esta producción de mixtos se podría alimentar una planta carboeléctrica cuya capacidad instalada sería de 300 MW, consumiéndose 2 960 kcal/KWh generado, y trabajando con un factor de carga del 70 por ciento.

Bajo este orden de magnitud, si se decidiera la conveniencia de producir mixtos a futuro, éstos equivaldrían a las siguientes capacidades carboeléctricas instaladas:

	Capacidad carboeléctrica acumulada (MW)
1985	730
1990	1 200
1995	1 800
2000	2 650

*Reservas probadas en la provincia de Sabinas, Coahuila en mantos de espesor menor de 1.40 m., en áreas concesionadas y desistidas*

En función de estudios realizados por la Comisión de Energéticos en 1976, existen reservas probadas en mantos cuyo espesor varía entre 0.7 y 1.10 m., del orden de 225 millones de toneladas, que se ubican dentro de las áreas concesionadas a las empresas siderúrgicas y áreas que fueron motivo de desistimiento por parte de ellas y que ahora se encuentran bajo el patrimonio de la Comisión de Fomento Minero. Estas reservas, bajo criterios económicos reales desde el punto de vista energético, podrían ser equivalentes a la demanda que implica una planta carboeléctrica de 1 400 MW.



# NUEVAS FUENTES ENERGÉTICAS

*Oscar Guzmán*

## Introducción

El abastecimiento y el consumo energéticos del sistema socioeconómico de México ha estado y está dominado por los hidrocarburos líquidos y gaseosos. Las inmensas reservas de petróleo crudo y gas natural descubiertas desde mediados de los setenta contribuyeron a afianzar su participación en la oferta así como en la demanda energéticas globales del país. El uso de la producción excedente al consumo interno como medio para la obtención de las divisas necesarias para financiar la expansión económica y social, el carácter finito de las reservas y su posible agotamiento en una perspectiva de largo plazo, llevaron a plantear el objetivo de diversificar la estructura del abastecimiento energético. La energía nuclear, el carbón mineral y la energía hidráulica se convirtieron en la base sobre la cual debería apoyarse dicha diversificación. Detrás de ellas las llamadas nuevas fuentes de energía (NF) o fuentes no convencionales<sup>1</sup> aparecían

<sup>1</sup> El concepto de "nuevas fuentes de energía" no es una categoría claramente definida entre los especialistas en energía a pesar de que existe un consenso generalizado respecto de las fuentes que debe comprender. En este trabajo bajo el rubro de NF se incluyen fuentes de energía primaria escasamente desarrolladas, cuya tecnología a nivel mundial se encuentra aún en estado experimental o es relativamente reciente. Se incluyen también ciertas fuentes con tecnologías conocidas pero que aún no se han desarrollado a nivel masivo como para considerar importante su aporte a la oferta energética (se excluye la energía nuclear). Asimismo se incorpora la energía geotérmica que puede considerarse una fase inicial de su desarrollo a escala comercial.

Este conjunto heterogéneo de fuentes energéticas "nuevas" tiene importancia para México así como para el conjunto de los países de América Latina por su capacidad de sustituir hidrocarburos escasos y por facilitar el acceso a la energía para las actividades productivas en regiones no integradas a sistemas energéticos globales.

En este trabajo se tuvieron en cuenta las siguientes fuentes:

1. Solar
2. Eólica

como instancias a las que debe hacerse referencia pero en tanto fuentes de segunda categoría, sin grandes perspectivas de impactar el uso energético de las generaciones venideras. A pesar de esta concepción generosamente difundida en los círculos encargados de diseñar y construir el sistema energético que alimentará a la sociedad mexicana en las próximas décadas, los impulsores de las NF insisten en su potencialidad como medio para responder a la demanda creciente de los sectores tradicionales de consumo así como a la de los nuevos grupos de la población que acceden a él, pero, además, como elemento para contener el continuo deterioro del medio ambiente. A pesar de su existencia secular, el desarrollo de las NF permanece aún en un denso cono de sombra sin cuya disipación proseguirá en el letargo donde ha estado sumido hasta el presente. Para que la situación se revierta no sólo hace falta canalizar los recursos económicos, humanos y tecnológicos necesarios sino que resulta indispensable una firme determinación política que lo permita.

Este trabajo presenta un análisis de la situación actual y de las perspectivas de desarrollo de las NF en México. Para ello se hace una revisión del conocimiento actual sobre los recursos en NF de que dispone el país y de su posible incidencia en la oferta energética futura. Se precisan las características de los recursos humanos, económicos y tecnológicos empleados en las diversas actividades, así como de la participación de las tecnologías e insumos nacionales; para completar el panorama presente se presta atención a los rasgos salientes del financiamiento de los centros y actividades. Por último se analiza la cooperación nacional e internacional en el campo de las NF y su incidencia sobre las características tecnológicas de los procesos. El trabajo se apoya en una encuesta realizada en los principales centros del país que trabajan en NF. Dicho estudio estuvo a cargo del autor y fue elaborado a petición del Instituto para la Integración de América Latina (INTAL) del Banco Interamericano de Desarrollo como parte de un estudio más amplio sobre NF en América Latina, y contó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

- 
3. Biomasa
  4. Mareomotriz
  5. Gradiente térmico de los océanos
  6. Energía de las olas
  7. Hidrógeno (por hidrólisis)
  8. Gasificación y licuefacción de carbones
  9. Esquistos bituminosos y arenas asfálticas
  10. Celdas de combustible
  11. Pequeños aprovechamientos hidráulicos

## Los centros y las actividades en NF

En México, la característica de los centros que trabajan en NF son indicativas de cuales han sido los canales por los que se dirigen los primeros avances. Sobre el total de ellos, 69% son institutos o centros dedicados a docencia e investigación, en gran parte universitarios, el 19% asociaciones y sociedades civiles y el 12% restante organismos públicos, descentralizados o no.<sup>2</sup> Entre los primeros, en la mayoría de los casos, la docencia es la actividad básica mientras que la investigación, sin tener un carácter marginal, ocupa una situación menos importante y aparece como complementaria de la enseñanza. Si a los centros universitarios encuestados se agregan otros de escasa importancia, su peso relativo en el conjunto es aún mayor, representando el 80% de las instituciones que trabajan en NF. En consecuencia, los organismos públicos y las asociaciones civiles constituyen sólo 20% del total, repartido en forma equilibrada entre ambos grupos. Sin embargo, si bien estas proporciones revelan cuales son los ámbitos donde se centró el interés por las fuentes no convencionales, no dan cuenta en forma adecuada de la gravitación real de los centros en las actividades. Entre los centros universitarios no existe homogeneidad en cuanto a los recursos económicos, humanos y tecnológicos con que cuentan cada uno de ellos, por el contrario, en ese sentido hay diferencias marcadas existiendo un reducido número que lleva a cabo los proyectos de mayor importancia. La cantidad de organismos públicos y de asociaciones civiles es proporcionalmente más reducida que la de los centros universitarios; a pesar de ello, su papel en esta fase de surgimiento de las nuevas fuentes ha sido primordial.

El universo de la encuesta es altamente representativo de los centros dedicados total o parcialmente a NF de energía, ya que da cuenta de los núcleos principales que han definido su orientación hasta el presente y que continuarán haciéndolo en el futuro, a corto y mediano plazo.

Del análisis de las actividades de los centros, surge que éstas están orientadas fundamentalmente a la investigación y desarrollo (ID). Los proyectos con estas características representan 68% de los trabajos relativos a las diversas fuentes primarias, 19% corresponde a investigación y apenas 7% a la difusión masiva (DM) de los aprovechamientos. La promoción del uso de las NF no se realiza en forma separada de la ID, puesto que varios de los intentos de difusión constituyen la prolongación de los trabajos de diseño, construcción y operación de unidades experimentales por parte de

<sup>2</sup> La encuesta cubrió 16 de los 27 centros relevados en México y 74 actividades principales. Los cuadros núm. 2 a núm. 17 se elaboraron a partir de la información de la encuesta. Esta se llevó a cabo en el mes de diciembre de 1981 y enero y febrero de 1982.

los grupos que procuran la ampliación del mercado de usuarios de estas tecnologías.

El desarrollo del conjunto de las nuevas fuentes es un hecho relativamente reciente. Si bien dos de las principales instituciones se iniciaron durante la primera mitad de los setenta, el mayor impulso tuvo lugar entre 1975 y 1978, y se afianzó en los dos primeros años de la presente década. La situación antes indicada no impide considerar que ha existido cierta regularidad y cierta unidad en los trabajos, los que en su mayoría deberían prolongarse en el futuro disponiendo de un mínimo de recursos con tal propósito. Esta apreciación es particularmente válida para los centros más importantes pero no lo es necesariamente para aquéllos en los cuales el estudio y desarrollo de prototipos es una actividad entre otras.

Las actividades analizadas abarcan toda la gama de actividades en NF que se llevan a cabo en México, habiéndose relevado prácticamente todas las de mayor envergadura por la dimensión de los recursos comprometidos. Su distribución por fuente primaria muestra un claro predominio de los estudios y desarrollos de la energía solar a la que están dedicadas el 64% de las actividades, siguiendo en orden de importancia cuantitativa la geotermia: 16.0%, la biomasa: 12.0%, la eólica: 6.7% y por último la energía de las olas: 1.3%.

### Los recursos en NF y su contribución a la oferta energética

La información que se maneja en los centros dedicados a NF no permite evaluar el monto de los recursos de los mismos y tampoco apreciar su aporte a la oferta energética total de México hacia el año 2000. Si bien no es posible un análisis preciso relativo a ambos aspectos, es conveniente dar cuenta de las pocas estimaciones y apreciaciones existentes en torno al tema considerando las NF en desarrollo en la actualidad.

Dadas las características de insolación de México,<sup>3</sup> la energía solar es, entre las nuevas fuentes, una de las más promisorias por su posible contribución a diversificar la estructura del abastecimiento energético del país. El Programa de Energía de la secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial,<sup>4</sup> en los incisos 122 a 125, hace referencia a las perspectivas del uso de la energía solar en México; no obstante, lo hace en términos cualitativos, sin proporcionar una evaluación cuantitativa del impacto que en el futuro

<sup>3</sup> La insolación promedio del país se estima en 2 000 KWh/m<sup>2</sup> al año.

<sup>4</sup> Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, *Programa de Energía, Metas a 1990 y proyecciones al año 2000* (Resumen y Conclusiones). México, noviembre de 1980.

se pueda asociar al desarrollo de la misma. La política energética oficial, explicitada en dicho programa, reconoce la importancia de esta fuente, pero precisa que su utilización en gran escala es un evento del futuro por lo que a corto y mediano plazo su aportación al balance energético será marginal (Programa de Energía, inciso 125). Se considera que a más largo plazo, si los esfuerzos tecnológicos en este campo tienen éxito, la energía solar contribuirá a sentar las bases de sistemas eléctricos descentralizados, ampliándose así la gama de opciones energéticas que permiten dar una respuesta al problema de energía que afrontan las zonas rurales del país. El acceso a un suministro eléctrico autónomo de la red facilitaría la extensión de la capacidad de bombeo de agua para irrigación, alentaría el desarrollo de pequeñas industrias y de establecimientos comerciales, y contribuiría a satisfacer los mínimos de bienestar de grupos que hasta el presente han permanecido marginados de los servicios eléctricos. En los lineamientos de la política energética se destaca, por otra parte, que el aprovechamiento de la energía solar es de particular importancia para el calentamiento del agua destinada a usos domésticos y productivos, así como para el secado de productos agrícolas y pecuarios. En este contexto, los programas por instrumentar para la difusión del uso de la energía solar deben orientarse a la aplicación de tecnologías de pequeña escala, adecuadas al medio rural. A pesar de estas consideraciones que se hacen a nivel de la política energética, en materia de energía solar, al igual que en el caso de otras fuentes no convencionales, no se ha realizado aún en México un estudio detallado y consistente que analice las posibilidades de su desarrollo así como de su incidencia global y sectorial sobre el consumo de energía. Tanto en los centros de ID como en los organismos públicos y privados, no existe una estimación cuantificada del aporte futuro de esta fuente a la oferta y demanda energética del país. No obstante, debe mencionarse el intento llevado a cabo por la Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar (DIGAASES), con miras a la elaboración de un Programa Nacional de Aprovechamiento de Energía Solar y Colaterales (PRONAESYC). En la versión preliminar de este documento se proyectó la demanda de los sectores industrial, residencial y agrícola al año 2000 y se estudiaron tres escenarios en los que se analiza el impacto futuro que puede tener el uso de la energía solar. Así, si dicho uso representara en el año 2000: 4%, 6% o 9% de la demanda energética de los sectores indicados, se ahorrarían, 30, 44 y 67 millones de barriles de petróleo en el año horizonte. Es decir que se conseguiría un ahorro acumulado de energía convencional de 211 260 y 330 millones de barriles respectivamente entre los años 1982 y 2000. Este estudio constituye un primer intento por evaluar la posible contribución de la energía solar al balance energético global, en la perspectiva de establecer un programa de desarrollo de la misma que contemple el logro de ciertas metas precisan-

do los medios necesarios para alcanzarlas. Sin embargo, los valores indicados en cuanto a la participación de la energía solar en la demanda energética y el ahorro de hidrocarburos que en consecuencia se derivaría surgen de una proyección donde las hipótesis subyacentes fijan niveles de crecimiento demasiado fuertes para el uso de la energía solar.

En México, entre las fuentes no convencionales de energía, la geotermia se encuentra en una situación de desarrollo particularmente avanzado. El país cuenta con una prolongada experiencia en este campo que le ha permitido establecer programas de aprovechamiento de recursos sobre bases más sólidas que en el caso de las demás fuentes en análisis.

Los estudios para determinar la potencialidad geotérmica de México se han venido realizando desde 1955 por parte de la CFE y a la fecha se conocen alrededor de 320 focos termales. De acuerdo con las últimas estimaciones del Instituto de Investigaciones Eléctricas, la capacidad geotérmica probada, probable y potencial de México asciende a 2 000 MW, 13 000 MW y 200 000 MW respectivamente. Dichos valores llevarían la energía eléctrica producida a partir de la geotermia a 14 TWh/año, 91 TWh/año y 1 400 TWh/año en cada uno de los casos señalados.

Al establecer una base común para la comparación de las reservas energéticas de las distintas fuentes se evidencia la importancia de los recursos geotérmicos en el conjunto (cuadro 1). En esta comparación, el panorama del potencial energético nacional está dominado por el petróleo crudo y el gas natural que cubren 85.7% de las reservas energéticas probadas y probables de México. Si bien las reservas probadas geotérmicas constituyen apenas 0.6% de las totales, su incidencia se modifica en la medida en que se consideran las reservas probables y potenciales. En efecto, las primeras sitúan a la geotermia delante de los recursos uraníferos mientras que las potenciales la convierten en la segunda fuente de energía después de los hidrocarburos líquidos y gaseosos en conjunto. No obstante la incertidumbre que involucra el concepto de reserva potencial, las evaluaciones sobre la posible contribución de la geotermia indican que ésta representa 15.0% de dichas reservas.

En esta evaluación de conjunto se pone de manifiesto que la oferta energética puede diversificarse de manera significativa con el desarrollo no sólo de la geotermia sino también de los recursos hidráulicos no aprovechados. En este campo aún no se ha considerado la posibilidad de impulsar la instalación de equipos para el aprovechamiento de los saltos y cursos de agua de reducida potencia.

En cuanto al uso actual del potencial geotérmico, en 1980 se contaba en Cerro Prieto, Baja California, con una capacidad instalada de 150 MW habiéndose generado cerca de 1.5% de la electricidad total del país. El Programa de Energía establece una meta mínima de utilización del recurso que consiste en llegar a 620 MW de potencia instalada en 1990. Los objeti-

## Cuadro 1

## Las reservas energéticas de México

## A. En millones de TEP

Energía Reservas	Petróleo crudo (a)	Gas natural (b)	Subtotal (a) + (b)	Carbón mineral	Hidráulica	Uranio	Geotermia	Total
1. Probadas	6 808	3 387	10 195	856	638	130	74	11 983
2. Probables	--	--	18 500	1 000	1 356	260	484	21 600
3. Potenciales	--	--	35 397	1 419	3 988	1 300	7 440	49 544

## B. En por ciento

Reservas	(a)	(b)						
1. Probadas	(66.8)	(33.2)	85.7	7.2	5.4	1.1	0.6	100
2. Probables	--	--	85.7	4.6	6.3	1.3	2.2	100
3. Potenciales	--	--	71.4	3.0	8.0	3.1	15.0	100

Observaciones: Gas natural: comprende gas seco y líquidos del gas.

Carbón mineral: corresponde a las reservas "in situ", evaluadas según el contenido calórico del carbón "todo uno".

Energía hidráulica: reservas estimadas de acuerdo con los requerimientos de derivados de petróleo de la térmica equivalente en operación durante 30 años. Las reservas potenciales se evaluaron según el potencial teórico bruto de hidroelectricidad del país.

Uranio: se calculó la energía generable por unidad de uranio consumido y luego se evaluó el consumo de derivados del petróleo de la térmica equivalente.

Geotermia: 1. Comprende: yacimientos de alta entalpía, agua y vapor.

2. Comprende: yacimientos de alta, media y baja entalpía.

3. Comprende: yacimientos de agua supercaliente, vapor, reservorios geopresurizados y lava.

Fuente: Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Depto. de Geotermia del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

vos por alcanzar son más ambiciosos si se tiene en cuenta el programa de plantas geotérmicas de la Comisión Federal de Electricidad que cubre el periodo junio de 1981 a junio de 1990. De acuerdo con este programa, la entrada en operación de las unidades de Cerro Prieto II, III y IV, y de Los Azufres I, II y III adicionaría una capacidad total de 1 045 MW en dicho periodo. Las unidades que se tiene programado incorporar multiplicarían casi por ocho la capacidad instalada en 1980, la que ya entonces permitiría un ahorro de hidrocarburos equivalente a 2 millones de barriles anuales de petróleo. Si se traspone esta economía de combustibles a la producción eléctrica de las unidades previstas para el año 1990, el uso de la geotermia traería aparejado un ahorro de aproximadamente 16 millones de barriles de petróleo equivalente, volumen al que se debería agregar la economía de combustible proveniente del aprovechamiento del vapor de origen geotérmico para otros fines que no sean la generación eléctrica. Si bien la ejecución de las obras puede verse postergada por dificultades económico-financieras, la explotación de los recursos geotérmicos es el campo de las nuevas fuentes donde, en la actualidad, existen los programas más definidos y con mayores posibilidades de concreción.

El desarrollo futuro de los usos energéticos de la biomasa, del viento, de las olas o del gradiente térmico de los océanos no ha sido objeto de un estudio adecuado, en consecuencia tampoco se ha evaluado cuál podría ser su contribución a la diversificación de la oferta de energía a mediano y largo plazo. De ellas, la biomasa tiene una influencia marcada en el consumo energético de las áreas rurales por su uso directo como combustible; sin embargo, junto con las restantes es considerada por los centros de planificación del país como una fuente marginal cuyo aporte futuro a la satisfacción de las necesidades internas aparece como irrelevante. El escaso o nulo desarrollo relativo de estas energías primarias y la poca trascendencia que se les asigna para el futuro contrasta con su potencialidad. En México, se producen anualmente cerca de 25 millones de toneladas de fibras provenientes de bagazo y rastrojo, además el ganado vacuno genera aproximadamente 20 millones de toneladas de estiércol en base seca; estos desechos podrían transformarse en alimentos forrajeros, fertilizantes y combustibles a precios competitivos con productos de otro origen. Un aprovechamiento adecuado de la biomasa permitiría no sólo ahorrar combustibles convencionales sino también mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales dándoles al mismo tiempo una mayor autonomía energética. Por otra parte, el litoral mexicano, de 10 000 km de extensión total, vincula al país a los océanos Pacífico y Atlántico con lo que podría aprovecharse por un lado la energía de las olas, por otro el gradiente térmico de las aguas, y adicionalmente la energía de los vientos que se originan en las zonas de la costa.

En síntesis, dadas las condiciones actuales y las perspectivas de su desarrollo, todo lleva a suponer que las NF no incidirán de manera signifi-

cativa en el balance energético de México a mediano y largo plazo. La geotermia podría excluirse de estas consideraciones generales en cuanto a la incertidumbre de la evolución futura de las NF quedando su aporte limitado dentro del panorama a que se ha hecho referencia.

Para que esta visión del futuro cambie se necesita dar a las NF un impulso en el cual la participación de las instancias que definen la orientación de la política energética del país es fundamental.

### **Los recursos humanos, económicos y tecnológicos comprometidos en el desarrollo de las NF**

En este apartado se procederá a analizar los recursos con que cuentan los centros para llevar a cabo sus actividades. Para los distintos tipos de recursos se hará la diferencia por fuentes ya que una evaluación global no permitiría dar cuenta de las especificidades de cada uno de los casos; además, existen contrastes significativos entre las NF en cuanto a sus desarrollos respectivos y por consiguiente entre los recursos que les han sido asignados hasta el presente.

#### *i) Recursos humanos*

En el desarrollo de las NF de energía en México, se observa un uso creciente de los recursos humanos: de los 1 541.6 meses/hombre (m/h) trabajados en 1980 se pasó a 1 755.6 en 1981 y se estima llegar a 1 888.8 en 1982 registrándose incrementos de 14% y 6.8% respectivamente. Esta tendencia hacia la ampliación del uso de la fuerza de trabajo tiene lugar como consecuencia de las variaciones producidas en el nivel de las actividades correspondientes a las distintas fuentes de energía no convencionales, existiendo marcadas diferencias entre las mismas en cuanto al nivel de uso de recursos humanos alcanzado (cuadro 2). La estructura por fuentes de dichos recursos revela una alta concentración en el campo de la energía solar la que en los tres años considerados absorbió en promedio cerca de 65% del total de los m/h trabajados, mientras que la energía geotérmica requirió en el mismo periodo aproximadamente la cuarta parte del total (25.6%). Por consiguiente, el 10% restante se destinó a los esfuerzos desiguales efectuados en biomasa, en energía eólica y de las olas (cuadro 3).

En materia de energía solar, se constata una notoria diferencia entre la conversión fotovoltaica y la fototérmica, en cuanto a la magnitud de los recursos humanos usados; así, en 1981 la primera sólo ocupó menos de la mitad de los recursos que la segunda (379.8 m/h frente a 771.3 m/h,

Cuadro 2

México. Recursos humanos empleados en nuevas fuentes de energía  
(en m/h)

Energía	Solar		Geotérmica	Biomasa	Eólica	Olas	Total
	Conversión fototérmica	Conversión fotovoltaica					
Año			Total				
1980	702.9	336.6	1 039.5	65.5	49.4	8.4	1 541.6
1981	771.3	379.8	1 151.1	70.9	49.6	7.8	1 755.6
1982	785.4	472.0	1 257.4	98.8	51.2	8.4	1 888.8

Cuadro 3

México. Distribución de los recursos humanos entre las nuevas fuentes de energía  
(en %)

Energía	Solar		Geotérmica	Biomasa	Eólica	Olas	Total
	Conversión fototérmica	Conversión fotovoltaica					
Año			Total				
1980	45.6	21.8	67.4	4.3	3.2	0.5	100
1981	44.0	21.7	65.5	4.0	2.8	0.4	100
1982	41.6	25.0	66.6	5.2	2.7	0.4	100

cuadro 2). Estos valores junto con los gastos totales en que se incurre en una y otra área del desarrollo de la energía solar, pone de manifiesto el marcado predominio de los trabajos en conversión fototérmica comparados tanto con los de la fotovoltaica como con el resto de las NF. En este espacio predominante de la energía solar como lo es el de la conversión fototérmica, los esfuerzos aparecen concentrados en tres aspectos principales de los trabajos de ID: los llamados proyectos integrales,<sup>5</sup> los colectores planos y superficies selectivas y la generación eléctrica solar, rubros que en 1981, representaron 27%, 25% y 20% respectivamente del trabajo humano total volcado en la conversión fototérmica de la energía solar. La primera y la última de estas actividades se desenvuelven en el marco de un reducido número de instituciones, mientras que las correspondientes a los colectores solares se llevan a cabo prácticamente en todos los centros que trabajan en conversión fototérmica dada la relativa simplicidad tecnológica requerida para su construcción (cuadro 4).

La investigación básica y aplicada en geotermia sigue en importancia a la energía solar en lo que se refiere al empleo de los recursos humanos al haberse trabajado 476 m/h en 1981; este valor equivale aproximadamente a 60% del tiempo empleado en energía solar en el mismo año. En esta evaluación de los recursos humanos comprometidos en las actividades de NF, no se tuvo en cuenta el trabajo desarrollado en la ejecución de las obras geotermoeléctricas. De haberse incorporado éste a la contabilidad de recursos humanos se habría distorsionado la estructura por fuente; las actividades de ID del Instituto de Investigaciones Eléctricas testimonian en forma adecuada los esfuerzos que se realizan en este campo. Conviene destacar, sin embargo, que la fuerza de trabajo destinada a la construcción de los aprovechamientos geotérmicos supera ampliamente a la utilizada en el conjunto de las actividades en NF. Así, en 1981, las obras de Cerro Prieto II y III (220 MW cada una) insumieron 14 500 m/h sin diferenciación de categorías. Si se considera un 10% de profesionales calificados, 40% de profesionales medios y técnicos especializados y 50% de operarios, el valor indicado pasaría a cerca de 1 900 m/h, de acuerdo con los criterios del estudio. Los programas de ambas obras prevén un rápido crecimiento de las actividades durante 1982 y si bien en 1983 se produciría una reducción de los trabajos en estos proyectos, el desarrollo de los aprovechamientos de los Azufres (Michoacán) contrarrestaría esta tendencia.

Los recursos humanos destinados al aprovechamiento de la biomasa mediante las técnicas de degradación anaeróbica, principal proceso desarrollado en los últimos años, ubican a esta forma de energía primaria en el tercer lugar después de la solar y la geotérmica. En 1981 se destinaron

<sup>5</sup> Comprenden los proyectos Sonntlan, Las Barrancas y Mexicali así como el Quetzalcóatl.

Cuadro 4

México. Distribución de los recursos humanos entre las actividades de conversión  
fototérmica de la energía solar

Año	Colectores planos y superficies selectivas	Refrigeración solar	Helioarquitectura	Proyectos integrales	Generador eléctrico o solar	Otras	Total
1980	169.5	11.2	93.8	77.4	214.2	136.8	702.9
1981	199.1	39.5	115.6	54.0	207.6	155.5	771.3
1982	165.5	30.7	133.9	99.1	206.1	150.1	785.4

a este campo 71 m/h, monto que aumentaría en el futuro inmediato siguiendo la tendencia de los años anteriores. La distribución de los recursos humanos entre los distintos centros que actúan en este campo es más dispersa que en el caso de otras fuentes, sin embargo, en 1980 y 1981 el 30% de las instituciones encuestadas requirió de 50% a 75% del total del tiempo invertido en el desarrollo de la biodigestión. Estos esfuerzos estuvieron dirigidos fundamentalmente a ID pero con el propósito principal de promover una mayor y más rápida difusión del uso de los digestores en las áreas rurales.

El nivel de la actividad de los trabajos efectuados en energía eólica en 1980 y 1981 se ha mantenido prácticamente invariable alrededor de los 50 m/h por año sin que se espere una modificación sustancial para 1982. La fuerza de trabajo total destinada a esta energía se concentra en 60% en una de las instituciones encuestadas y en la cual se realizan tareas tanto de evaluación del recurso como de ID para su aprovechamiento. La reducida significación de la energía eólica en el contexto de las NF se refleja en su baja participación en el uso de los recursos humanos la que en 1981 representó apenas 2.8% del total.

Los meses/hombre ocupados en actividades relativas al aprovechamiento de la energía de las olas, tan sólo 8.4 m/h en 1980 y 1981, son un testimonio elocuente del interés casi nulo que hasta el presente ha suscitado la ID de esta nueva fuente de energía. Los pocos esfuerzos realizados se sitúan en el campo de la investigación básica, existiendo elementos que hacen pensar en la posible construcción de alguna planta experimental a mediano plazo; sin embargo, la asignación de recursos humanos en esta dirección y en proporciones suficientes aún no se ha concretado.

El personal altamente calificado y directivo, junto con los profesionales medios son las categorías ampliamente prevalecientes en la composición de la fuerza de trabajo de las actividades en NF. Ambas categorías reunidas agrupaban cerca del 90% de los m/h trabajados en 1981 en las áreas de geotermia y energía solar, llegando inclusive a 95% en el caso de la conversión fotovoltaica; estas proporciones se mantenían aproximadamente en un orden de magnitud similar en las actividades correspondientes al aprovechamiento de la biomasa y de la energía eólica (cuadro 5), donde los profesionales medios y técnicos especializados han tenido su mayor peso. Los profesionales altamente calificados prevalecen en forma notoria en solar y geotermia, sobre todo en el campo de las fotoceldas donde la investigación básica y en menor medida la aplicada, se realiza principalmente en centros universitarios especializados. La composición de la fuerza de trabajo refleja la naturaleza prevaleciente de las actividades de los centros en los que se desarrollan las NF, en su mayoría vinculados o incorporados a universidades y en los cuales las tareas están orientadas a ID más que a la difusión de los equipos.

Cuadro 5

México. Composición de la fuerza de trabajo empleada en las actividades de nuevas fuentes de energía por categorías principales 1981 (en % sobre el total)

Energía	S o l a r		Geotérmica	Biomasa	Eólica
	Conversión fototérmica	Conversión fotovoltaica			
1) Personal directivo y profesionales altamente calificados	60.6	71.0	63.5	52.0	44.0
2) Profesionales medios técnicos calificados	25.7	24.0	26.0	46.9	37.0
Total 1 + 2	86.3	95.0	89.5	98.9	81.0

## ii) Recursos económicos

La asignación total de recursos económicos por parte de los centros encuestados alcanzó los 6.8 millones de dólares en 1980 y aumentó en 43% para 1981 llegando a 9.8 millones de dólares.<sup>6</sup> De acuerdo con las estimaciones recogidas para el año 1982, los recursos económicos destinados a NF deberían más que duplicarse (crecerían en 222%) en relación a los del año anterior ubicándose en cerca de 21.9 millones de dólares, de esta manera se confirmaría la tendencia de rápido crecimiento de los mismos verificada en años anteriores (cuadro 6).

Del análisis de la distribución de dichos recursos por fuente de energía surge que, en 1980, el 66% del total se destinó al campo de la energía solar, proporción que llegaría a 84.1% en 1982 con un gasto global de 18.4 millones de dólares. Por lo tanto, el aumento de los recursos económi-

<sup>6</sup> Las cantidades en dólares se calculan utilizando la paridad de 23.3 pesos por dólar USA correspondiente a diciembre de 1980. Las estimaciones fueron realizadas en dicha moneda para facilitar las comparaciones con otros países y permitir la evaluación del financiamiento externo.

Cuadro 6

México. Recursos económicos empleados en nuevas fuentes  
(en miles de dólares)

Energía	S o l a r			Geotérmica	Biomasa	Eólica	Olas	Total
	Conversión fotovoltaica	Conversión fototérmica	Total					
1980	969.0	3 562.6	4 531.6	1 954.6	182.1	168.9	25.4	6 862.3
1981	1 575.7	5 406.2	6 981.9	2 275.5	381.9	174.4	10.8	9 824.5
1982	1 568.0	16 883.0	18 451.0	2 878.2	341.8	170.9	25.4	21 867.3

cos utilizados se originó fundamentalmente en la asignación hecha a la energía solar.

Sin embargo, para comprender las características de esta evolución debe diferenciarse la conversión fotovoltaica de la conversión fototérmica; en efecto, la primera representó 21.4% de los recursos económicos que insumió la energía solar en 1980 y 22.5% en 1981, pero sólo tomaría 8.5% de los mismos en 1982 con un monto próximo a 1.5 millones de dólares. Esta disminución relativa del gasto total en materia de conversión fotovoltaica se debe al fuerte incremento de los recursos destinados a la conversión fototérmica (cuadros 7 y 8), en particular a determinados proyectos: helioarquitectura, generación helioeléctrica y, sobre todo, a los proyectos integrales. En 1982 correspondería a estos últimos cerca del 80% de los recursos económicos que se canalizarán hacia la energía solar. Estos proyectos deben considerarse como de ID pero orientados a difundir en forma masiva el uso de dicha fuente, mientras que la conversión fotovoltaica centra principalmente sus actividades en torno a la investigación básica y al desarrollo tecnológico, a través de la construcción de prototipos experimentales.

El fuerte aumento de los recursos económicos empleados en el campo de energía solar se debe principalmente a la instrumentación de diferentes proyectos por parte de un organismo de la administración pública (DIGA-ASES) y en grado menor a los institutos universitarios y de investigaciones eléctricas.

Entre las NF, la geotermia es, después de la energía solar, la segunda en importancia por el monto de recursos económicos que se le asignan. El gasto total en ID geotérmico fue de 1.9 millones de dólares en 1980, 2.2 millones en 1981 y se espera que llegue a 2.8 millones en 1982, con lo que se registraría un aumento de 47% en el conjunto de los tres años. No obstante, la importancia relativa dentro del total de recursos económicos usados en NF pasaría de 28.5% al 13.2%, de 1981 a 1982, como consecuencia del mayor impulso que se otorgará a actividades a las que se hizo referencia en el campo de la energía solar. Los trabajos de ID en geotermia se nuclean alrededor del Instituto de Investigaciones Eléctricas el que recurre a centros universitarios y de la industria petrolera para algunos estudios específicos, por consiguiente la distribución de los recursos económicos entre estas instituciones mantiene el mismo perfil. Al igual que en el caso de los recursos humanos, y por las mismas consideraciones, en el análisis de los recursos económicos utilizados en NF, no se tuvieron en cuenta los trabajos de la CFE en la construcción de plantas geotermoeléctricas. Su inclusión en el conjunto de las actividades encuestadas hubiera cambiado la participación de las distintas fuentes de manera notable. En efecto, de acuerdo con el informe de plantas geotérmicas en programa, el costo total de las obras ascendería a cerca de 930 millones de dólares. Sobre este monto a diciembre de 1980 se había ejercido algo menos del 10% (90 millones de dólares) y una cantidad similar sólo en

Cuadro 7

México. Distribución de los recursos económicos entre las nuevas fuentes  
(en %)

Energía	Solar		Geotérmica	Biomasa	Fólica	Olas	Total
	Conversión fototérmica	Conversión fotovoltaica					
1980	51.9	14.1	28.5	2.7	2.5	0.3	100
1981	55.0	16.0	23.2	3.9	3.9	0.1	100
1982	77.2	7.2	13.2	1.9	1.6	0.1	100

Cuadro 8

México. Distribución de recursos económicos en la conversión  
fototérmica de la energía solar  
(en miles de dólares)

Año	Colectores planos y superficies selectivas	Refrigeración solar	Helioarquitectura	Proyectos integrales	Generador eléctrico solar	Otras	Total
1981	743.5	404.4	242.7	2 582.1	1 367	66.5	5 406.2
1982	504.2	390.1	2 716.0	12 256.4	954	63.2	16 883.0

1981, mientras que los presupuestos programados para 1982 y 1983 preveían erogaciones de 154 millones y 184 millones de dólares respectivamente. Es decir, que en 1981, a estos proyectos se destinaron recursos económicos superiores en nueve veces a los asignados al resto de actividades en NF, comprendida la ID en geotermia que es una de las más importantes.

Las actividades en energía solar y geotermia demandaron 94.2% de los gastos totales efectuados en NF en 1981, esto significa que el 5.8% restante correspondió a la suma de los efectuados en el aprovechamiento energético del viento, de las olas y de la biomasa. Esta parte reducida de los recursos llegó en 1981 a 567 mil dólares, de los cuales la última fuente indicada representó 67%, la eólica 31% y la energía de las olas apenas 2%; el monto de los gastos y su distribución no se alterarían en lo esencial en el transcurso de 1982. Los valores mencionados reflejan la participación marginal de estas tres fuentes de energía, pero en particular el viento y las olas, en la asignación de los recursos económicos al conjunto de la NF.

### Distribución de los recursos económicos por centro y actividad

El análisis anterior relativo a la evolución reciente de los recursos económicos comprometidos en NF brinda una visión de conjunto del uso de los mismos. Sin embargo, con la finalidad de comprender mejor la modalidad de su empleo, es conveniente precisar su distribución por centros y actividades ya que dicha distribución está estrechamente vinculada con las características e importancia de los centros que desarrollan trabajos en NF.

#### a) *El uso de los recursos económicos por centros*

Si se computa el gasto medio anual en el que han incurrido los centros durante los años 1980 y 1981 y se tiene en cuenta la distribución de los grupos de trabajo según el monto de dichos gastos, se observa que:

por una parte, 40% de los centros destinó un promedio anual inferior a 60 mil dólares para llevar a cabo el conjunto de proyectos en NF. Las dos terceras partes de estos centros insumieron menos de 20 mil dólares por año (cuadro 9);

## Cuadro 9

México. Distribución de los centros encuestados según su gasto medio anual en NF  
(en miles de dólares y en promedio para 1980 y 1981)

A.		0-9.9	10-20	50-60	70-80	100-115	350-375	500-530	1 100-1 350	1 800-2300	Total
Gasto total anual											
Número de centros		2	2	2	1	1	1	2	2	2	15
en por ciento		13.3	13.3	13.3	6.7	6.7	6.7	13.3	13.3	13.3	100
B.		0-9.9	10-30	50-90	100-150	200-250	400-450	Total			
Gasto total anual por actividad											
Número de centros		2	3	5	1	2	2	15			
en por ciento		13.3	20.0	33.3	6.7	13.3	13.3	100			

Nota. A. 1. Se tuvieron en cuenta los recursos económicos totales utilizados por los centros en 1980 y 1981.

B. 1. El gasto total anual por actividad resulta de la suma del gasto medio anual por actividad y por NF.

La suma de los parciales difiere del total porcentual debido al redondeo de los valores.

por otra, 40% de las instituciones requirieron más de 500 mil dólares anuales en promedio para 1980-81, de ellas las dos terceras partes superaron el millón de dólares de gasto anual. Los centros comprendidos en este rango superior del gasto se dedican fundamentalmente a I e ID en energía solar y geotermia;

entre ambos grupos extremos se encuentra el 20% de los centros restantes cuyos gastos varían en el amplio intervalo comprendido entre 70 mil y cerca de 400 mil dólares anuales; debe destacarse que entre ellos figura uno de los centros más importantes en materia de biomasa.

En suma, existe una fuerte polarización en la distribución de los recursos económicos entre los distintos centros. En efecto, el 40% de las instituciones concentra 96% del gasto anual total realizado por los centros mexicanos, mientras que el 60% de las instituciones sólo participa en un reducido 4% de dicho gasto. Esta diferencia marcada entre los grupos se traduce en la envergadura y continuidad de los proyectos realizados así como en la posibilidad futura de prolongar e incrementar los trabajos para el desarrollo de las NF.

#### *b) Los recursos económicos en relación a las actividades*

El análisis de la distribución de las actividades de acuerdo al gasto medio anual volcado en cada una de ellas aporta una idea más precisa del tipo de esfuerzo que se realiza para desarrollar las NF. En el caso de México, teniendo en cuenta las actividades en curso en 1980 y 1981, la distribución de recursos económicos por actividad revela que (cuadro 10):

en el extremo inferior de la escala de recursos asignados, a 27.5% de las actividades se destina apenas 1.8% del gasto total anual en NF, correspondiendo a dichos trabajos erogaciones menores a 20 mil dólares anuales. Cabe precisar que de éstas 71% son proyectos de escasa relevancia en los que se emplean menos de 5 mil dólares por año en promedio para los años considerados. En este último grupo predominan algunas actividades relativas al aprovechamiento fototérmico de la energía solar que por su simplicidad tecnológica pueden efectuarse sin recurrir a gastos mayores. Sin embargo, en el conjunto de este grupo también entran algunos proyectos relativos a biomasa, energía eólica y de las olas;

existe un segundo rango de gastos (entre 40 mil y 80 mil dólares anuales) donde se concentra otro 27.5% de las actividades y que utilizan en promedio cerca de 10% del gasto total en NF;

Cuadro 10

México. Distribución de las actividades en NF según el gasto medio anual comprometido en cada una de ellas

1. Gasto medio anual (en miles de dólares)	Número de actividades										Total				
	0-19.5	20-39	40-59	60-79	80-99	100-119	120-149	150-199	200-250	300-349		350-400	450-499	500-550	
	14	3	8	6	3	5	1	1	1	2	3	1	1	2	51
en porcentaje	27.5	5.9	15.7	11.8	5.9	9.8	1.9	1.9	1.9	3.9	5.9	1.9	1.9	3.8	100
3. Participación de las actividades en el gasto total (%)	1.8	1.2	5.2	5.0	3.3	7.6	2.0	2.6	1.8	8.9	14.7	6.2	7.0	31.2	100

Nota: 1. Es el gasto medio anual por actividad.

2. Se computaron las actividades en curso durante los dos años, 1980 y 1981; éstas representan el 70% del total de las encuestadas.

3. El gasto total promedio para 1981 y 1982 y para el conjunto de las actividades fue de 7 505 miles de dólares.

el tercer rango de gastos (entre 80 mil y 120 mil dólares anuales) abarca 15.7% de las actividades representando 10.9% del gasto total anual en NF para los años indicados; en el extremo superior se encuentra el 13.7% de las actividades encuestadas con gastos medios superiores a 350 mil dólares anuales; cabe señalar que a estos trabajos correspondió 59.1% de los recursos económicos totales comprometidos. La concentración del gasto global en determinados proyectos se traduce con más claridad aún en el hecho de que 3.8% de las actividades insumen 31.2% de los recursos económicos totales; la ID de las plantas helioeléctricas es la actividad que requiere de mayores gastos.

De acuerdo con esta característica de la distribución del gasto por actividad destaca la existencia de condiciones extremas, por un lado hay un grupo numeroso de trabajos en los que se emplean recursos relativamente escasos y, por otro, existe un conjunto más reducido de proyectos donde se concentra la mayor parte del gasto dirigido al desarrollo de las NF. Sin embargo, existe también una proporción significativa de actividades (rangos dos y tres, 43.2% del total) con gastos medios anuales relativamente importantes.

Si bien a los centros que realizaron los menores gastos anuales corresponden, en general, actividades llevadas a cabo con recursos económicos comparativamente poco significativos, este tipo de trabajos también se desarrolla en algunos centros de importancia media por sus gastos totales. Además, las actividades de mayor peso económico se concentran en unas pocas instituciones que son, sin duda, las de mayor importancia por los esfuerzos realizados hasta el presente en materia de NF.

Si bien es de esperar que en el futuro inmediato los proyectos más relevantes se desarrollen en el marco de los organismos con mayor experiencia y recursos, la existencia de grupos de menor significación, tanto por los recursos técnicos como económicos de que disponen para las actividades, contribuye a difundir en forma más amplia los conocimientos relativos a la ID en materia de NF. Este rol de los centros menores adquiere mayor relevancia en el interior del país, donde pueden constituirse en vectores de propagación de los aprovechamientos en NF a pesar del alcance limitado de sus actividades hasta el presente.

### *iii) Recursos tecnológicos*

Al evaluar los recursos tecnológicos comprometidos en las actividades de los distintos centros, es conveniente analizar por separado los casos rela-

tivos a cada una de las fuentes. Dada la diversidad de procesos existentes y la naturaleza diferente de los medios requeridos, se consideran a continuación los caracteres predominantes de los recursos utilizados, poniendo énfasis en la capacidad tecnológica desarrollada o adquirida en las distintas áreas.

En las actividades relativas a la conversión fotovoltaica de la energía solar, los recursos tecnológicos involucrados varían según se trate de la investigación básica y fabricación de celdas experimentales o bien de la aplicación de los módulos de celdas; en este último caso, ya sea como generador eléctrico en unidades prototipo, o en la difusión de sus aplicaciones a una escala mayor. Los dos aspectos señalados en primer término están fuertemente vinculados con la investigación de las propiedades físicas básicas de los materiales y de la estructura de las celdas fotovoltaicas en la perspectiva de desarrollar prototipos de distintos componentes, ya se trate de materiales cristalinos o amorfos, y de aumentar la eficiencia de conversión de las fotoceldas. En este campo, la infraestructura tecnológica con que se cuenta para el estudio de los materiales, de películas delgadas, de la caracterización óptica y eléctrica de las celdas, reúne los requisitos indispensables que han permitido conseguir importantes progresos en la investigación. Los laboratorios de los centros que trabajan en celdas, en su mayoría universitarios, cuentan con equipos tecnológicamente avanzados y de buena calidad, aunque no en la cantidad y variedad deseadas por quienes se ocupan de las investigaciones. En todos los casos se tiene acceso a las computadoras de los centros de cálculo de las distintas instituciones donde se procesa la información recogida en laboratorio y se formulan y mejoran los modelos matemáticos.

Si bien en México se producen celdas fotovoltaicas experimentales, aún no se ha llegado a su fabricación en serie. En la actualidad, se construye una planta piloto con el objetivo de demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vistas a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es artesanal y los elementos de producción son limitados.

La difusión de los generadores eléctricos de celdas fotovoltaicas para distintas aplicaciones (iluminación de clínicas y escuelas, bombeo de agua, telecomunicaciones en zonas remotas, etc.) encuentra en México una respuesta tecnológica adecuada a sus requerimientos, teniendo en cuenta que se desenvuelve en el contexto de una difusión todavía muy restringida. En el país existe la capacidad tecnológica y productiva para el ensamble de las celdas en módulos, siendo factible, por lo tanto, revertir la situación señalada. No obstante, la capacidad potencial de ensamblado no es aprovechada en toda la gama de sus posibilidades dadas las condiciones actuales de estrechez del mercado comprador de celdas fotovoltaicas. El diseño, construcción y evaluación de los sistemas de bombeo

y de desalación del agua es el campo hacia el cual se dirige una parte importante de los recursos destinados a la construcción de unidades experimentales basadas en el suministro de electricidad a las máquinas mediante generadores de celdas solares.

En el desarrollo de los sistemas de captación de la energía solar para su conversión fototérmica, el diseño, construcción y evaluación de los colectores planos constituye una actividad ampliamente difundida en México. Los estudios teóricos y experimentales de la eficiencia de este sistema de captación, de las superficies selectivas, de los concentradores, de los tubos evacuados, así como su aplicación concreta como fuente de energía que alimenta un sistema de conversión asociado (refrigeración, bomba de agua, etc.) están presentes en cerca del 75% de las actividades concernientes a la conversión fototérmica de la energía solar. En México existe una prolongada experiencia en materia de colectores solares y se cuenta con los recursos tecnológicos adecuados para mejorar su diseño y construcción, tanto en lo que respecta a los colectores más simples como a los de mayor complejidad técnica. En el presente, la ID de estos sistemas de captación pasa sobre todo por el diseño, construcción y evaluación técnica de prototipos en los cuales los colectores están incorporados a distintos sistemas como fuentes de energía. Tal es el caso de los equipos de heliofrigeración por absorción, en los cuales se intenta adaptar la fuente solar a los aparatos comerciales de refrigeración o climatización, o bien el del bombeo de agua donde se alimenta una máquina de vapor. Puede afirmarse que la tecnología no es una restricción para el desarrollo de los sistemas de captación solar, las limitaciones que encuentra su difusión están relacionadas, más que a aspectos tecnológicos, a aspectos económicos, debido a los gastos derivados de la adquisición de los equipos solares en comparación con los relativos al uso de las energías convencionales, a aspectos sociales, que hacen a las barreras que surgen en una sociedad frente a los cambios asociados a innovaciones que aún no están convalidadas socialmente, pero las limitaciones surgen también de la concepción e instrumentación de la política energética global del país.

El diseño helioarquitectónico constituye uno de los principales centros de interés para mejorar el aprovechamiento de los recursos energéticos en el sector doméstico y en el residencial en general. Las unidades experimentales construidas y monitoreadas para su evaluación son el resultado de un proceso de adaptación y desarrollo de algunas experiencias llevadas a cabo a nivel internacional. México cuenta con recursos humanos y tecnológicos como para dar un mayor impulso a esta concepción helio y ecoarquitectónica de la vivienda. Los prototipos construidos y los proyectos en curso para una difusión en mayor escala (Proyectos Sonntlan, Las Barrancas y Mexicali, Quetzalcóatl y otros) dan cuenta de la experiencia tecnológica adquirida y de la capacidad potencial disponible que permitirían una incorporación relativamente rápida de los progresos logrados en la materia a los planes de urbanización.

El generador helioeléctrico con sistemas de capacitación por concentradores solares es una de las aplicaciones de la energía solar que ha suscitado la atención de numerosos centros internacionales entre los que figura México. Una planta experimental de 50 KW construida por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, será puesta en funcionamiento para fines de 1982, constituyendo una de las primeras experiencias en este campo. La importancia de la misma no reside únicamente en la energía que pueda llegar a producir sino también, y de manera especial, en la capacidad tecnológica que se ha adquirido en el diseño, construcción y mejoramiento de los distintos subsistemas que la componen, entre ellos el solar, y que permiten su aplicación a distintas áreas de la industria. La participación relativamente elevada de componentes nacionales, de 50% a 75%, refleja en cierta medida la disponibilidad de recursos técnicos que hacen viables proyectos de esta naturaleza en una fase experimental de su desarrollo. Este tipo de generación helioeléctrica ha recibido uno de los apoyos financieros más importantes entre los que se han otorgado para el desarrollo de NF, permitiéndole contar con la infraestructura mínima para la ejecución de la investigación básica y aplicada que requiere. Un proyecto igualmente importante por los recursos humanos y económicos que involucra es el que se desarrolla en Las Barrancas, Baja California Sur, en el cual la planta generadora está asociada a otros aprovechamientos térmicos (la potencia térmica del campo de colectores concentradores es de 1.1 MW a 1.8 MW). Sin embargo, este proyecto tiene características distintas al anterior en cuanto al origen de los recursos tecnológicos comprometidos en él ya que se lleva a cabo en colaboración estrecha con diversos centros de la República Federal de Alemania cuyo aporte en el sistema de energía solar es fundamental.

En los trabajos de investigación y desarrollo de la conversión fototérmica, los centros involucrados han recurrido con frecuencia al uso de minicomputadoras y han tenido acceso a las unidades de cálculo tanto de universidades como de organismos públicos. De esta forma se ha podido agilizar el procesamiento de datos y la elaboración de los modelos matemáticos aplicables a los distintos subsistemas que conforman un proceso de aprovechamiento de la energía solar.

La investigación básica y aplicada en geotermia dispone de recursos tecnológicos que cualitativa y cuantitativamente la colocan en una situación privilegiada en relación a otras fuentes de energía no convencionales, contando con equipos y laboratorios de nivel internacional cuyo uso permite importantes progresos en las investigaciones que se llevan a cabo. Los recursos financieros que apoyan esta actividad, vinculada a la generación geotermoeléctrica y por consiguiente a la CFE le han permitido consolidar una infraestructura tecnológica acorde con los proyectos de desarrollo existentes.

Los recursos tecnológicos comprometidos en las actividades corres-

pondientes a la energía eólica competen a dos áreas: una es la evaluación del recurso y la otra la del desarrollo de unidades experimentales. En lo que respecta a la evaluación del viento como recurso energético, si bien se cuenta con los equipos básicos y los conocimientos necesarios para llevarla a cabo, la magnitud de los medios disponibles resulta insuficiente para un rápido y exhaustivo estudio que abarque todo el país. La construcción de prototipos experimentales se apoya en los talleres mecánicos de los centros entre los cuales existen diferencias notorias tanto en la capacidad como en la disponibilidad de máquinas y herramientas. La ID se centra principalmente alrededor de las unidades de baja potencia (bombas de 10 HP, aerogeneradoras de 2.5 KW a 10 KW) las que se adaptan a las condiciones de vientos del país, condiciones que obligan a trabajar sobre todo con un número de revoluciones relativamente bajo. Sin embargo, las limitaciones más importantes en la extensión y profundización de las actividades experimentales no residen tanto en la capacidad tecnológica para realizarlas como en la reducida importancia que se otorga a los aprovechamientos de la energía eólica en su conjunto, situación que se traduce en una baja asignación de recursos financieros a esta fuente.

El diseño y la construcción de digestores anaeróbicos ha alcanzado un importante grado de madurez en el país. Se dispone ya de los conocimientos técnicos necesarios para la construcción de digestores familiares de dimensiones reducidas, de digestores industriales de volúmenes importantes, así como de plantas de tratamiento de desechos orgánicos para comunidades rurales. En este campo los avances tecnológicos han sido rápidos y existen buenas perspectivas para el mejoramiento de los digestores industriales; sin embargo, la construcción de unidades de biodigestión no cuenta con los medios financieros suficientes como para concretar una difusión masiva de los mismos a nivel nacional. Ello ocurre a pesar de que los digestores no sólo contribuyen al suministro de gas combustible sino que constituyen también, y sobre todo, un medio adecuado para mejorar las condiciones sanitarias, productivas, y en general las condiciones de vida de la población rural. La evaluación de la fermentación de las distintas mezclas aplicables a los digestores no requiere de laboratorios de análisis químicos demasiado complejos y en caso de que se deba recurrir a estudios básicos más sofisticados, existen en el país los equipos para satisfacer dichos requerimientos. La tecnología no es un obstáculo esencial para el desarrollo de los digestores, la explicación de la propagación insuficiente de este proceso de aprovechamiento de los desechos orgánicos debe buscarse en dimensiones distintas, en la formulación y aplicación de las políticas socioeconómicas para el desarrollo de las zonas rurales, espacio dentro del cual debería insertarse la política energética dirigida a este sector.

## Las actividades en NF según su impacto en el balance energético y la complejidad tecnológica de los procesos

La clasificación de las tecnologías utilizadas en las diversas actividades se fundamentó en la combinación de dos criterios básicos: uno de ellos es el impacto que la actividad tiene o puede tener sobre el balance energético, a partir de la producción específica de energía a que da lugar, y el otro es el grado de complejidad tecnológica asociado al proceso de transformación energética en cuestión. La combinación de ambos origina la identificación de dos tipos principales de tecnología (I y II) y de un tercero intermedio entre ambos (III). Sin embargo, al analizarse con detalle las actividades correspondientes a las diversas fuentes y centros, se evidenció que algunas de aquellas podían considerarse de uno u otro tipo según cual fuera el criterio preponderante. Para evitar las interpretaciones incorrectas y reducir las ambigüedades que podrían presentarse se hace una doble evaluación sobre la base de prioritar uno de los dos criterios antes mencionados.

### *i) El criterio del balance energético*

Al agrupar las actividades según el posible impacto que podrían tener sobre el balance energético nacional, teniendo en cuenta el estado actual de su desarrollo y difusión, quedan definidas dos posiciones extremas: una de reducida y otra de fuerte incidencia específica, con una situación intermedia. A partir de este criterio, se observa que en el conjunto de las actividades del país, prevalecen ampliamente los desarrollos de poca gravitación en cuanto al aporte de energía que puedan realizar. En efecto, las tecnologías de tipo I representan 82.4% del total, mientras que las de tipo II solamente 7.8% y las intermedias 9.8%, es decir que los desarrollos tecnológicos de mayor aporte energético constituyen una proporción relativamente reducida del conjunto de las actividades de los centros (cuadro 11).

Esta situación se repite en los trabajos relativos a la energía solar considerados en conjunto, acentuándose las diferencias entre los tipos I y II. En el caso de conversión fotovoltaica todas las actividades en curso se sitúan dentro del primer grupo, a la vez que las relativas a la conversión fototérmica tienen una distribución que se corresponde con la verificación a nivel nacional.

La utilización energética de la geotermia, en cambio, se caracteriza por su elevada complejidad tecnológica y por su peso relativamente importante en cuanto a su capacidad de suministrar energía. El número de actividades en este campo es proporcionalmente bajo dentro del conjunto,

Cuadro 11

México. Clasificación de las actividades por tipo de tecnología  
(I, II, III) y fuente de energía considerando el impacto sobre el balance energético  
(en %)

Energía Tecnología	S o l a r		Geotérmica	Biomasa	Eólica	Olas	Total
	Conversión fototérmica	Conversión fotovoltaica					
I	81.5	100	—	78.0	100	100	82.4
II	7.4	—	22.0	—	—	—	7.8
III	11.1	—	—	22.0	—	—	9.8
Total	100	100	100	100	100	100	100
No. de actividades	27	8	2	9	4	1	51

Nota: En este caso, se consideran aquellas actividades que implican un aprovechamiento energético aunque sea sólo a nivel de prototipo, dejándose de lado las actividades de investigación sin componente de aplicación.

a pesar de ello la geotermia es, por la naturaleza de los aprovechamientos y por los recursos que se le asignan, la fuente que mayor difusión tendrá a mediano plazo.

En lo que respecta a la biomasa, vuelve a repetirse la estructura general, aunque, contrariamente a lo que acontece con la energía solar, las diferencias se reducen en vez de ampliarse ya que la construcción de digestores de capacidades intermedias e industriales ha comenzado a adquirir una importancia creciente entre los proyectos en curso y por realizarse. Por último, entre las dos nuevas fuentes de energía marginales, la eólica y la de las olas, no existen prototipos en desarrollo que por sus características puedan impactar de manera considerable el balance energético global.

La distribución de actividades en nuevas fuentes de energía teniendo en cuenta su posible aporte a la producción y al uso de la misma, es indicativa de las tendencias que han prevalecido durante el decenio pasado en cuanto a las características de los equipos estudiados y producidos con fines experimentales o bien de difusión restringida. Sin embargo, a pesar de que los trabajos se han encaminado en su mayoría a prototipos con un suministro energético relativamente bajo, debe tenerse muy en cuenta que la construcción y uso de los mismos en gran escala pueden llegar a incidir en el balance energético global de manera mucho más importante de lo que dejan entrever sus aportes específicos. Este es un aspecto que no puede ignorarse cuando se intenta hacer una evaluación de la potencialidad de una fuente energética y de los procesos en que se basa su transformación a una forma de energía aprovechable por el hombre.

## *ii) El criterio de la complejidad tecnológica*

Si en vez de poner énfasis en la contribución energética que se deriva de las distintas actividades, se traslada el centro de interés al grado de complejidad tecnológica asociado no sólo a las unidades experimentales sino a las tareas de investigación básica que las apoyan, se especifica el panorama que resulta de la evaluación anterior de las actividades. En efecto, al tener presente la complejidad de la tecnología y la participación de los componentes importados, resultan tres categorías:

- I. Tecnologías simples, que recurren a materiales y técnicas accequibles localmente, y que se aplican en unidades de producción de escala reducida (por ejemplo: calentadores solares).
- II. Tecnologías complejas, que requieren de diseños y componentes importados en proporciones significativas, y que se desarrollan en

unidades de producción de gran escala (por ejemplo: centrales geotérmicas).

### III. Situación intermedia entre I y II.

Siguiendo el criterio anterior, las actividades catalogadas en I representan 46% del total nacional, y la participación de los tipos II y III, llegan a 27% en cada caso (cuadro 12). Este hecho pone de manifiesto que si bien prevalecen los proyectos de bajo impacto energético, la investigación básica y aplicada que concurre en su apoyo se caracteriza, en la mayoría de los casos analizados, por el uso de tecnologías que no pueden calificarse de "simples".

La tecnología aplicada en el campo solar y evaluada a través de las actividades, presenta las mismas características que se verifican en todo el conjunto, ello se debe a que los trabajos realizados en energía solar son, por importancia, los que definen en lo esencial los rasgos predominantes en el país. No obstante, la conversión fotovoltaica se diferencia marcadamente de dicho contexto. En efecto, las actividades con procesos tecnológicos simples y con escasos componentes de importación sólo constituyen 7.1% de los proyectos en dicho rubro a la vez que las ubicadas en el otro extremo de la escala (tipo II) tienen un peso relativo ligeramente por encima del verificado en el país. El mayor contraste se encuentra en los procesos de tipo intermedio (III) que en lo relativo a celdas fotovoltaicas supera en forma marcada la media del conjunto correspondiendo a 64.3% de las actividades (cuadro 12). Esta modificación se debe en gran medida a la incidencia de los trabajos de investigación en materiales, de fabricación de las celdas experimentales y de caracterización de las mismas, así como el recurso constante a celdas importadas para la construcción tanto de equipos de prueba como para la instalación de sistemas con generadores fotovoltaicos, en una etapa de la difusión de éstos que puede considerarse como el comienzo de un periodo de expansión.

Los proyectos compartidos con países europeos, en particular los surgidos por convenio con la República Federal Alemana más que los acordados con Francia, apelan a tecnologías originadas en los países industriales avanzados y recurren casi en su totalidad a componentes producidos en ellos; por esta razón, las actividades de conversión fototérmica del tipo II llegan a representar 24.2% del total en esta modalidad de transformación de la energía solar. No obstante, la simplicidad de las técnicas y el uso de recursos nacionales siguen siendo los elementos prevalecientes en este campo.

La ID en geotermia se distingue por la fuerte incidencia que tienen las tecnologías intermedias y de alta complejidad, las que reunidas abarcan 91.7% de las actividades. En los estudios y desarrollos geotérmicos se

Cuadro 12

México. Clasificación de las actividades por tipo de tecnología  
(I, II, III) y fuente de energía considerando la complejidad tecnológica de los procesos  
(en %)

Energía Tecnología	S o l a r			Geotérmica	Biomasa	Eólica	Olas	Total
	Conversión fototérmica	Conversión fotovoltaica	Total					
I	60.6	7.1	44.7	8.3	78.0	80.0	100	46.0
II	24.2	28.6	25.5	66.7	—	—	—	27.0
III	15.2	64.3	29.8	25.0	22.0	20.0	—	27.0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
No. de actividades	33	14	47	12	9	5	1	74

Nota: En este caso se consideran todas las actividades encuestadas y se las clasifica poniendo énfasis en la complejidad tecnológica de los procesos y en la incidencia de las componentes importadas de los mismos.

utilizan instrumentos y equipos de laboratorios de importación en proporciones relativamente significativas.

Tanto los estudios generales como las plantas experimentales construidas para el desarrollo de las fuentes de energía restantes: biomasa, eólica y de las olas, no presentan los rasgos de complejidad tecnológica de las anteriores. En estos tres casos, la clasificación de las actividades que resulta de esta segunda tipificación se aparta de las características verificadas en el conjunto, es decir que los procesos de tipo II y III tienen escasa relevancia. Los rasgos tecnológicos predominantes en los aprovechamientos de estas fuentes quedan complementados por la evaluación anterior que revela el bajo aporte específico de energía predominante en ellos.

### **La participación de tecnologías e insumos nacionales en el desarrollo de la NF**

El análisis de las actividades en nuevas fuentes de energía que se realizan en México, en cuanto al origen de la tecnología usada en las mismas, pone de relieve el alto nivel de participación de los procesos técnicos desarrollados en el país así como de los que cuentan con un grado importante de adaptación (49% a 99%) y que, por lo tanto, recurren al empleo mayoritario de insumos nacionales. La tecnología nacional y la de elevado índice de adaptación están presentes en el 75.4% del conjunto de las actividades; en esta proporción prevalecen los procesos adaptados frente a los nacionales, 46.6% y 28.8% respectivamente (cuadro 13). Los proyectos con reducida participación de insumos y procesos nacionales (10% a 49%) junto con aquéllos en los que se utilizan sólo componentes y diseños extranjeros constituyen el 24.6% del total; de éstos apenas 4.1% corresponde a actividades basadas íntegramente en tecnología energética e insumos extranjeros.

Si se consideran cada una de las categorías establecidas de acuerdo con el origen de la tecnología y su distribución por fuente de energía (cuadro 14), se evidencia que la ID en energía solar es determinante en la demanda de equipos y procesos extranjeros. La conversión fototérmica es el único rubro que ha dado lugar a trabajos con predominio total de los componentes no nacionales y, al mismo tiempo, la conversión fotovoltaica es la forma de aprovechamiento de las fuentes no convencionales donde hay mayor número de actividades con escasa adaptación. Si bien los trabajos en energía solar prevalecen también entre los procesos de origen nacional y los de elevado grado de adaptación, dentro de estas características participan asimismo las restantes fuentes primarias, en particular la geotermia y la biomasa.

Cuadro 13

México. Origen de la tecnología usada en las actividades de nuevas fuentes de energía  
(% por fuente)

Energía Origen de la tecnología	S o l a r			Total	Geotérmica	Biomasa	Eólica	Olas	Total de actividades	Número de actividades
	Conversión fototérmica	Conversión fotovoltaica	Conversión fotovoltaica							
Nacional	42.4	—	30.4	30.4	—	55.6	20.0	100	28.8	21
Adaptada 49%—99%	33.4	38.5	34.8	34.8	92.0	44.4	60.0	—	46.6	34
Adaptada 10%—49%	15.1	61.5	28.3	28.3	8.0	—	20.0	—	20.5	15
Extranjera	9.1	—	6.5	6.5	—	—	—	—	4.1	3
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	73

Nota: En una de las actividades de conversión fototérmica no está definido aún el grado de participación de la tecnología nacional y extranjera, por lo cual las actividades suman en total 73.

Cuadro 14

México. Origen de la tecnología usada en las actividades de nuevas fuentes de energía

Energía Origen de la tecnología	S o l a r		Total	Geotérmica	Biomasa	Eólica	Olas	Total
	fototérmica	fotovoltaica						
Nacional	66.7	—	66.7	—	23.7	4.8	4.8	100
Adaptada 49%—99%	32.4	14.6	47.0	32.4	11.8	8.8	—	100
Adaptada 10%—49%	33.3	53.3	86.6	6.7	—	6.7	—	100
Extranjera	100	—	100	—	—	—	—	100

En geotermia la investigación básica y aplicada se lleva a cabo casi en su totalidad, 92% de las actividades, con tecnologías que requieren de insumos nacionales en proporción superior al 50% de los insumos totales (cuadro 13). Sin embargo la mayoría de los laboratorios cuenta con una proporción muy importante de máquinas, equipos e instrumentos de medición importados.<sup>7</sup> El carácter nacional o adaptado en diversos grados de la tecnología se refiere, por lo tanto, a los procesos que dan lugar a un estudio o a un aparato de conversión de alguna de las fuentes primarias en energía utilizable.

En el diseño y construcción de biodigestores el origen nacional de la concepción y de los componentes que intervienen en las obras, comprende el 55.6% de las actividades, mientras que la parte restante evidencia un alto grado de integración de elementos nacionales. La participación extranjera a la que se hace referencia en este caso corresponde a los diseños de digestores provenientes de diferentes países (India, China, etc.) y que sirvieron de punto de partida para la construcción de algunas de las unidades instaladas en el país. La importancia de la tecnología nacional refleja el desarrollo que se ha logrado en los centros de México en este campo y ha permitido su difusión al resto de países latinoamericanos a través de los distintos canales de intercambio y cooperación.

Los prototipos experimentales para la transformación de la energía del viento se construyen en algunos casos, utilizando determinados equipos y piezas de importación. Con frecuencia, el generador eléctrico para un amplio rango de rpm y la hélice son los elementos que se adquieren en el exterior; no obstante, la más baja participación nacional se registra en las actividades de evaluación del recurso del viento.

Más de un tercio (34.8%) de los trabajos en energía solar, porcentaje superior al verificado para todos los centros, involucra tecnologías que utilizan insumos extranjeros en proporciones superiores a 49% de los insumos totales. Sin embargo, las actividades relativas a aprovechamientos solares con estas características equivalen en términos absolutos y relativos a aquellas que presentan un índice de integración nacional elevado (cuadro 13). Los recursos tecnológicos locales tienen una menor incidencia en la ID de celdas fotovoltaicas debido a la naturaleza de los trabajos realizados y entre los cuales la investigación básica de materiales ocupa un espacio importante; por otra parte, en la difusión de los generadores eléctricos de celdas solares se recurre a celdas y módulos fabricados en otros países. En cambio, en la conversión fototérmica, los insumos y las tecnologías de origen mexicano son hegemónicos en los proyectos en curso ya que 75.8% de los mismos demandan componentes extranjeros en baja proporción. Los proyectos integrales son las actividades en las que la tecnología e

<sup>7</sup> Esta observación es válida para las actividades concernientes a todas las fuentes en análisis.

insumos provienen íntegramente del exterior de acuerdo con los convenios de colaboración firmados con países industriales avanzados. Algunos estudios en superficies selectivas y concentradores, junto con la concepción de obras helioarquitectónicas, junto con la refrigeración, completan los tipos de aprovechamiento donde la participación nacional es más reducida que en otros. Debe considerarse que la participación extranjera mayoritaria se concentra en proyectos que cuentan con una asignación muy importante de recursos humanos y económicos en comparación con otros trabajos; por ello, la influencia externa sería seguramente mayor si se efectuara una estimación teniendo en cuenta el monto en valor de los recursos usados.

La colaboración entre los centros que trabajan en nuevas fuentes de energía, en especial en lo que respecta al intercambio de información, ha favorecido el proceso de adaptación a las condiciones locales de las tecnologías usadas en otros países. En esta evolución han influido positivamente tanto la difusión interna de los avances técnicos de los organismos nacionales como el caudal de literatura especializada llegado a México de centros extranjeros, sobre todo de Estados Unidos y de Europa. La mayoría de los proyectos atraviesa por una primera etapa de estudios bibliográficos que sirven para ubicar el estado del conocimiento en el tema que se trate, así como para definir las dimensiones del problema y sentar las bases para el diseño de las unidades experimentales que luego se construyen y evalúan. La simplicidad tecnológica de algunos aprovechamientos surgidos de esta manera, y el uso de componentes producidos íntegramente en México, han dado por resultado el desarrollo de actividades que pueden considerarse como enteramente concebidas y ejecutadas con insumos locales o bien de alta participación nacional.

A pesar de que el intercambio internacional de información ha influido en la dirección indicada, la cooperación concretada a través de proyectos compartidos internacionalmente no lo ha hecho del mismo modo. En estos casos, el uso de tecnologías, equipos y materiales producidos en el exterior lleva a considerar a la mayor parte de estas actividades como de reducida participación nacional o bien directamente de "tecnología extranjera". Una vez construidas las plantas experimentales su operación permite utilizarlas como laboratorio de pruebas del sistema integrado, facilitando en cierta medida la formación y el entrenamiento de profesionales y técnicos nacionales. Si bien este tipo de proyectos compartidos favorece la realización de obras de envergadura que serían más difíciles de ejecutar de no mediar el aporte de las partes, su contribución al desarrollo de la capacidad tecnológica nacional en materia de NF es irrelevante frente al monto de recursos económicos que demanda.

Esta situación se presenta en el caso de algunos de los proyectos integrales donde la participación nacional se reduce a la construcción de las obras de infraestructura con un nivel de gasto equivalente casi a la mitad de los recursos económicos totales utilizados en NF en 1982.

Este hecho obliga a cuestionar seriamente la naturaleza y los criterios prevalecientes en la asignación de los recursos públicos destinados en este campo, así como el contenido y las modalidades a través de los cuales se concreta la cooperación internacional entre los países industrializados y los no desarrollados.

### El apoyo financiero otorgado a las actividades en NF

En los últimos tres años (1979-1980-1981) el monto acumulado del apoyo financiero otorgado a las actividades en nuevas fuentes de energía totalizó cerca de 9.0 millones de dólares (cuadro 15). Con crecimiento del orden de 24% anual de 1979 a 1981, el financiamiento llegó a 3.6 millones de dólares en este último año, esperándose, según las previsiones de los diversos centros, que ascienda a 4.6 millones en 1982. El financiamiento representó 43.2% y 37.0% del total de los recursos económicos usados en 1980 y 1981, proporción que se reduciría a 21.0% para el año 1982. Esta disminución relativa se produciría a pesar de un incremento en valor absoluto que superaría al de los años anteriores, y como consecuencia del fuerte aporte de organismos públicos para la realización de algunos proyectos integrales en energía solar; esta erogación representaría algo más

Cuadro 15  
México. El financiamiento de las actividades en nuevas fuentes  
en relación a los recursos económicos comprometidos  
(en miles de dólares)

	Recursos económicos	Financiamiento	2/1 (en %)
1979	—	2387	—
1980	6862	2963	43.2
1981	9824	3644	37.0
1982*	21867	4613**	21.0

\*Valores esperados según estimaciones de los centros.

\*\*De otorgarse un crédito por 1.29 millones de dólares la suma ascendería a 5.9 millones de dólares.

Nota: Los recursos económicos incluyen el financiamiento.

de la mitad de los recursos económicos destinados a nuevas fuentes (21 millones de dólares en total para 1982). Puede considerarse que en los últimos años la asistencia financiera a los centros ha sido del orden del 40% del gasto total anual efectuado para impulsar las energías no convencionales.

De 1979 a 1981, el 72% del financiamiento recibido por los distintos organismos provino de fuentes nacionales sin que se trate necesariamente de instituciones crediticias. Los recursos externos a los centros originados en el país durante ese periodo fueron de 6.4 millones de dólares, de éstos, 4.0 millones fueron aportados por tres Secretarías de Estado representando 45% del financiamiento total de las actividades. Las secretarías contribuyeron en forma desigual ya que una sola de ellas proporcionó más de la mitad (56%) del aporte de las mismas. El apoyo financiero se orientó, sobre todo, a proyectos de base para el desarrollo de nuevas fuentes con alcances y repercusiones en el mediano y largo plazo como es el caso del generador helioeléctrico y de los subsistemas que lo componen; sin embargo, también se destinó a algunos programas de organismos públicos, en los que se contempla el uso de fuentes no convencionales de energía en comunidades rurales.

La industria eléctrica mexicana, a través de la CFE, es una de las tres instituciones más importantes que financian la investigación y desarrollo de las nuevas fuentes. Su apoyo está dirigido principalmente, aunque no en forma exclusiva, a los procesos que permiten una contribución significativa a la generación de electricidad, concretamente a geotermia. La dimensión de su aporte se refleja en el hecho de que la industria proporcionó cerca de 20% del financiamiento total de las actividades de los tres últimos años.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) completa el grupo de las fuentes financieras de origen nacional; por su intermedio se canalizó aproximadamente 8% de los recursos del periodo indicado y se orientaron tanto a investigación básica como aplicada. Los valores indicados destacan el papel decisivo que cupo y cabe a las distintas instituciones mexicanas como fuentes de financiamiento de las energías no convencionales.

Sobre el total de los centros consultados, 62.5% de ellos solicitó apoyo financiero para sus actividades en 1980 y 1981, mientras que en el futuro la demanda de ayuda externa se extenderá al 81.3% de los mismos. El análisis del flujo financiero hacia los diversos centros pone de manifiesto que éste está fuertemente concentrado. Así, entre 1979 y 1981 de los 9.0 millones de dólares asignados para financiar los proyectos, 83.3% fue absorbido por sólo tres centros, uno de los cuales recibió 42.3% del monto global, además, otros tres centros requirieron alrededor de 5% del financiamiento total cada uno. Esto significa que junto a las instituciones más importantes, en las cuales se concentra notablemente el aporte

financiero, existe un conjunto de centros que cuentan con escaso o nulo apoyo externo para el desarrollo de sus actividades. Esta situación afecta sus posibilidades de llevar a cabo proyectos más ambiciosos por su complejidad tecnológica o por su envergadura. En numerosos casos el financiamiento con recursos propios sólo permite efectuar investigaciones y construir prototipos experimentales que carecen de mayores proyecciones en lo que respecta a su influencia tanto en el campo científico-técnico como en el del aprovechamiento de una nueva fuente de energía. Dado el desarrollo y la importancia desiguales de los centros, no se vislumbra para el futuro inmediato la posibilidad de una distribución menos concentrada del apoyo financiero a menos que, por un lado se lo incremente sustantivamente y, por otro, se ponga en práctica una política de apoyo continuo y amplio a las actividades de los centros menores.

Junto a la asistencia brindada por instituciones nacionales existe también la que proporcionan organismos internacionales y regionales. De 1979 a 1981 su contribución conjunta ascendió a 2.1 millones de dólares, habiendo participado en ella: el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización de Estados Americanos (OEA), la Inter American Foundation (IAF) y la Organización Latino Americana de Energía (OLADE) entre las más importantes. Del total desembolsado por estos organismos, 61.0%, correspondió al PNUD, mientras 24% y 14% provinieron de IAF y de OEA respectivamente. Si se compara la incidencia de la asistencia financiera interna con la externa se observa una marcada disparidad entre una y otra, destacando el aporte del Estado mexicano a través de sus diversas instancias administrativas. Sin embargo, el financiamiento proveniente de organismos regionales e internacionales ha sido decisivo para la realización de ciertos proyectos, ya sea porque financió la totalidad del mismo, ya porque la asistencia concedida permitió completar los recursos económicos mínimos para su realización. En este sentido, el aporte externo a la institución facilita en muchos casos la compra de equipos que por algún motivo no puede adquirirse a partir de los presupuestos autorizados.

El análisis de la distribución de la asistencia financiera por fuentes de energía pone de manifiesto una situación que reproduce la verificada al considerarse la asignación global de recursos económicos y humanos. En los últimos tres años la mayor parte del financiamiento se orientó a los centros cuyas actividades principales se desarrollan en el campo de la energía solar y sobre todo de la conversión fototérmica. Así, en 1981 65% del financiamiento total (nacional y extranjero) estuvo destinado a la energía solar y con preferencia a la conversión fototérmica más que a la fotovoltaica (84% y 16% respectivamente, cuadro 16). Sin embargo, el financiamiento proveniente del exterior se distribuyó en forma más equilibrada entre ambos tipos de aprovechamiento, dando preferencia al desarrollo de las celdas solares. La energía geotérmica se sitúa en un

orden de importancia próximo al de la energía solar por la magnitud del aporte recibido en los últimos tres años. Según el criterio que se adopte para definir la asistencia financiera, la energía geotérmica puede llegar a ser considerada como la fuente a la que se ha otorgado mayor apoyo en materia de investigación y desarrollo.<sup>8</sup> Los aprovechamientos energéticos de la biomasa constituyen el tercer grupo de actividades hacia el cual converge una parte menor de la asistencia financiera si se le compara con las otras dos indicadas anteriormente. Sin embargo, la ayuda externa recibida por uno de los principales centros que trabaja en el desarrollo de

Cuadro 16

México. Distribución por fuente de energía del financiamiento de las actividades según el origen del mismo (en %)

Fuente	ACTUAL (1981)			FUTURO (1982)		
	Nacional (1)	Extranjero (2)	Total (1)+(2)	Nacional (1)	Extranjero (2)	Total (1)+(2)
Solar total	64	70	65	35	40	38
C. fototérmica (96)	(96)	(41)	(84)	(68)	(48)	(59)
C. fotovoltaica (4)	(4)	(59)	(16)	(32)	(52)	(41)
Geotérmica	31	23	30	59	53	56
Biomasa	5	3	5	6	4	5
Eólica	—	4	*	—	3	1
Olas	—	—	—	—	—	—
Total	100	100	100	100	100	100

\*menor que 0.1 %

<sup>8</sup> Esta situación no se traduce enteramente en la participación de esta fuente que se obtiene de los resultados de la encuesta para 1981 (cuadro 16), pero sí se refleja en las expectativas de financiamiento para 1982. Al respecto, cabe señalar que la estructura de este último debe analizarse con precaución dada la incertidumbre existente en la aprobación de la ayuda financiera para dicho año.

biodigestores lo ubica entre las instituciones más favorecidas en la distribución de la asistencia financiera; este apoyo le ha permitido concretar en buena medida los programas de difusión de los equipos. Por último, la energía eólica, ha recibido una contribución casi residual tanto en términos relativos como absolutos.

La experiencia de cooperación nacional e internacional de los centros muestra que los organismos de asistencia financiera suelen brindar su colaboración a los proyectos compartidos una vez que éstos están definidos y cuentan con el consenso de los grupos involucrados. No obstante, la asistencia financiera se ve dificultada por el número de instancias administrativas que intervienen así como por los requisitos que demandan los financiadores para apoyar un proyecto; estos factores hacen lentas las tramitaciones y demoran la concreción de la ayuda. El funcionamiento más ágil de los mecanismos de ayuda financiera para la realización de proyectos tanto individuales como colectivos, aparece como un prerequisite necesario para hacerlo más eficiente.

## La colaboración entre centros

### *i) La experiencia a nivel nacional*

Del estudio de las actividades de los centros dedicados a NF se concluye que 75% de los mismos, tiene un conocimiento completo de las actividades de otras instituciones del país en el área de NF, y, sobre todo, de las actividades en torno de las cuales trabaja el propio centro. Sin embargo, esta conclusión debe matizarse con la consideración de que algunas instituciones se ocupan de más de una fuente de energía, por ello, el grado de conocimiento que se tiene de las actividades de otros grupos varía según la fuente de que se trate, y, en particular, de la importancia que ésta tenga en el conjunto de los trabajos que se realizan. La afirmación del comienzo lleva a pensar en la existencia, por un lado, de medios importantes de vehiculización de la información sobre las actividades de los distintos grupos y, por otro, de un sistema de colaboración sobre el cual se apoyaría ese intercambio. Esta idea se vería reforzada por el hecho de que la mayoría de los centros (80%) asegura pertenecer a algún sistema de cooperación formal o informal. Ahora bien, en muchos casos, la participación en un sistema de colaboración en el campo de NF tiene un carácter informal. Este es un aspecto importante para comprender la naturaleza de los vínculos que se establecen entre los distintos centros del país puesto que la cooperación, además de ser informal, por lo general carece de continuidad

en el tiempo, concretándose sólo a partir de las necesidades surgidas en un proyecto determinado y agotándose las relaciones una vez que aquellas se han cubierto. El carácter no formal de la colaboración, o mejor dicho del intercambio, pone de manifiesto que los lazos que se establecen entre centros no se encuadran necesariamente dentro de los mecanismos institucionales que podrían encausarlos. Una de las principales formas que adopta el intercambio es la relación individual entre miembros de diferentes grupos; éstos establecen contactos circunstanciales y dan lugar a una colaboración a título personal. Este aparece como uno de los medios más "efectivos" para lograr un intercambio mínimo real, aunque no plenamente satisfactorio. Los seminarios sobre temas técnicos así como los congresos en los que se abordan aspectos generales relativos al desarrollo de NF, constituyen la plataforma principal para el encuentro de los investigadores y el establecimiento de los primeros contactos que permiten la puesta en práctica de algún medio informal de colaboración. En la actualidad, ésta consiste principalmente en el intercambio de información técnica y, en menor medida, en la capacitación de profesionales y técnicos a través de cursos, conferencias y seminarios. Esta última forma de cooperación adquiere progresivamente mayor importancia en las relaciones que se establecen entre los centros de más experiencia y envergadura y aquellos que cuentan con menores recursos y con una trayectoria más breve en la ID de las NF.

Del total de vínculos establecidos entre distintos centros en las diversas actividades, 57% tuvo lugar entre organismos ubicados en el territorio mexicano. Los grupos de trabajo en el área de biomasa son los que proporcionalmente sostuvieron más vínculos en el ámbito nacional (62% de su intercambio total) siguiendo en intensidad los del área solar (53%). Sin embargo, el grado de vinculación de los centros entre sí no es homogéneo en el conjunto sino que, además de variar de uno a otro, aparece considerablemente concentrado ya que 60% de los lazos establecidos corresponde a sólo 30% de las instituciones.

En algunos casos se ha verificado que no existe el intercambio y la cooperación esperada entre centros pertenecientes a una misma institución y que además desarrollan actividades de ID relativas a una misma fuente de energía. Esta falta de coordinación y complementariedad de las labores se debe por un lado a la concepción e instrumentación aisladas de los programas de investigación, programas que surgen en buena medida de las preocupaciones propias de cada uno de los centros, pero, por otra parte, se origina también en la escasa compatibilidad de criterios para impulsar una tarea común. En estas circunstancias la falta de entendimiento conduce al aislamiento relativo de los grupos de trabajo, bloquea los canales de comunicación, inhibe la potencialidad de la cooperación tecnológica y económica y retarda el avance del conocimiento no sólo a nivel de investigación sino también de desarrollo tecnológico. En algunas

instituciones la situación se agrava por la ausencia de un programa rector que aborde las NF en su conjunto y que por consiguiente establezca los lineamientos internos necesarios para coordinar y jerarquizar los distintos proyectos; es decir que, en muchos casos, las actividades se conciben e implementan por esfuerzos e iniciativas de los responsables de los centros.

En términos generales, la interacción entre los centros no encuentra un contexto adecuado por la falta de un plan nacional para el desarrollo de las NF así como de un organismo que coordine los programas de trabajo. Este déficit de conducción de conjunto lleva a uno de los principales centros en energía solar a mantener vínculos estrechos de cooperación con instituciones del extranjero, mientras que las relaciones con los grupos nacionales son casi inexistentes.

Se ha señalado con anterioridad que en México surgen diferencias marcadas entre los centros en cuanto a disponibilidad de recursos económicos, tecnológicos y humanos para el desarrollo de los trabajos en NF de energía. Estas diferencias de recursos se traducen en las características de los programas de los centros existiendo proyectos de mayor trascendencia en aquellos que disponen de medios cualitativa y cuantitativamente superiores.

En el estado actual de la ID y de la difusión de los aprovechamientos de las NF, la presencia de estos centros menores no constituye en sí un obstáculo para la comunicación o para la cooperación tanto a nivel nacional como internacional. Más aún, los centros menores han contribuido a descentralizar las actividades tanto geográfica como institucionalmente, generándose un flujo de información y de recursos desde los organismos de mayor hacia los de menor importancia. En el presente, la escasez de centros que trabajan en NF en relación con la magnitud de los trabajos que deben realizarse para que en el futuro aquellas tengan una participación no marginal en la oferta energética, confiere a los centros menores el papel de núcleos promotores de las NF. En dichos grupos existe una amplia disposición para mejorar las condiciones de trabajo, elevar la calidad de la investigación y participar en lo posible en la innovación tecnológica con la perspectiva de volcarla en la producción industrial de equipos. La potencialidad de transformación de los grupos menores no es homogénea; la posibilidad de que evolucionen en la dirección indicada depende en gran medida de su consolidación como centros especializados en NF, de la disponibilidad de mayores recursos y de la interacción con otros centros en el contexto de un programa global de desarrollo de las NF.

*ii) La experiencia a nivel internacional*

Las relaciones con instituciones de otros países ocupan una proporción relativamente importante del total de vínculos establecidos por los centros mexicanos (43%). No obstante, cerca de la tercera parte de los mismos corresponde a las actividades de una sola institución y se originan principalmente en la ID en geotermia.

Las universidades, a las que pertenecen la mayor parte de los grupos, tienen firmados convenios de cooperación con una larga lista de instituciones de enseñanza e investigación de distintas partes del mundo. Sin embargo, estos convenios generales, de carácter muy amplio, no se utilizan con frecuencia para establecer relaciones con centros de otros países interesados en las NF; suele recurrirse a ellos sólo cuando ya se han establecido contactos preliminares y circunscrito las áreas de intercambio.

Los resultados conseguidos a partir de las experiencias llevadas a cabo son dispares debiendo diferenciarse los centros de países industriales avanzados de los que se encuentran en países subdesarrollados o en vía de desarrollo en general, y de América Latina en particular. La vinculación con centros de países industrializados, donde el desarrollo de la tecnología se halla en un estado más avanzado, es particularmente favorable en relación al intercambio de información que permite, de una forma u otra, acceder a los progresos conseguidos en la ID de NF, progresos que los centros mexicanos incorporan en lo posible a sus proyectos.

Los resultados no son enteramente satisfactorios cuando se trata de llevar a cabo un programa conjunto de investigación y de construcción de unidades experimentales, apareciendo diferencias marcadas en la evaluación realizada por los distintos centros. En algunos casos se considera que los distintos grados de madurez de la tecnología, las diferencias en la infraestructura disponible para la investigación básica y aplicada pero sobre todo, la ausencia de intereses comunes que se deriva de esas diferencias, son los fundamentos de las desavenencias surgidas entre los organismos que acordaron ejecutar un proyecto común. Los resultados logrados dejan un saldo más favorable según la evaluación de los responsables de otros centros, esta visión divergente de lo anterior surge de experiencias de cooperación importantes por el monto de recursos puestos en juego y en casos donde el aporte extranjero comprende por lo general la totalidad de los sistemas de aprovechamiento de energía no convencional; es decir, en casos donde la institución local actúa como receptora de tecnología con una participación reducida o nula de profesionales y técnicos nacionales en la concepción y construcción de los equipos.

La apertura de los centros hacia la región latinoamericana para establecer y afianzar los lazos de cooperación tanto en el intercambio de informa-

ción como en el desarrollo de proyectos comunes, constituye una perspectiva apoyada decididamente por la mayoría de los grupos que trabajan en NF en México. Desde mediados de los setenta, las relaciones con otros centros de América Latina cobraron un mayor impulso debido en gran medida a los esfuerzos de integración realizados por un organismo energético regional: OLADE. Esta organización latinoamericana se convirtió progresivamente en el ámbito de referencia principal para desarrollar la cooperación energética en la región, cooperación que no sólo se restringió a las energías convencionales sino que se extendió al campo de las NF.

Los aprovechamientos de la geotermia, de la biomasa y de otros desechos han sido hasta el presente las dos fuentes primarias que motivaron una mayor vinculación entre centros. Por el contrario el intercambio ha sido muy reducido en energía eólica y no ha existido con respecto a la energía de las olas. Por otra parte, la cooperación en el campo de la energía solar no ha adquirido la intensidad que era de esperarse dada la importancia que tiene esta fuente en las actividades del conjunto de los centros. El intercambio y la cooperación con América Latina han alcanzado niveles particularmente significativos en materia de biodigestores. Uno de los factores que ha propiciado esta situación reside en la concepción que tienen algunos de los principales centros respecto de la necesidad de optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales, tecnológicos y humanos, reduciendo al máximo los desperdicios generados en el uso de los primeros. La energía adquiere, así, un enfoque multidimensional y está incorporada a un sistema global de procesamiento de los recursos en el cual la producción de alimentos es uno de los aspectos centrales. La existencia en América Latina, y en especial en América Central, de varios grupos que comparten esta perspectiva integral del uso de los recursos, surgidos en contextos socioeconómicos no muy disímiles, que plantean problemáticas de desarrollo rural cercanas y a las que se intenta dar una respuesta a partir de plataformas conceptuales semejantes, ha sido un factor de primer orden en el impulso de la cooperación y el intercambio entre centros.

En suma, a pesar de que la cooperación entre los centros no se ha concretado en la medida de lo esperado, existe una actitud de franco apoyo para que se pongan en práctica sistemas de intercambio y colaboración acordes con el interés existente por difundir las NF de energía.

### **Las actividades compartidas por los centros**

Las actividades compartidas por los centros mexicanos tanto con centros nacionales como extranjeros han adquirido un peso creciente en los últimos años. En efecto, en 1980, 41% de las actividades eran compartidas

por dos o más centros.<sup>9</sup> En concordancia con el grado de maduración conseguido en el transcurso de la segunda mitad de los setenta, el mayor número de proyectos en común correspondió a la energía solar, haciéndose presente en el 67% del total de actividades compartidas (cuadro 17); la siguen en orden de importancia, la biomasa, con 27% y la geotermia con sólo 6%.

El número relativamente bajo de actividades compartidas en geotermia da cuenta del grado de autosuficiencia alcanzado en este campo en México, y además, de las características del desarrollo geotérmico que está centralizado en dos instituciones: una para la ejecución de los proyectos de aprovechamiento energético en escala comercial (CFE), y la otra (IIE) principalmente dedicada a la investigación y el desarrollo en áreas que concurren en apoyo a la primera. Las actividades compartidas en geotermia corresponden a problemas técnicos asociados a la explotación de los yacimientos y se recurre para ello a otros institutos del país que si bien trabajan en energía lo hacen en el campo de los hidrocarburos y no de las nuevas fuentes. Los vínculos con centros de otros países de

Cuadro 17

México. Actividades compartidas por fuente de energía

	Solar	Geotérmica	Biomasa y otras	Eólica	Olas	Total
Número	20	8	2	—	—	30
Participación (%)	67	27	6	—	—	100

América Latina han girado principalmente en torno al intercambio de información y a la capacitación de profesionales extranjeros quienes han recibido entrenamiento en México, pero no se ha extendido a la realización de proyectos comunes. En esta fase de la evolución de la cooperación regional, OLADE ha funcionado como organismo centralizador permitiendo la comunicación entre centros de distintos países interesados en el aprovechamiento de los recursos geotérmicos con fines energéticos y otros.

En materia de energía solar, 45% de las actividades son compartidas por dos o más centros, ya sea dentro del país o bien con algún grupo de trabajo del extranjero. Si bien las actividades compartidas representan una proporción relativamente importante del total, destaca el hecho de que solamente tres instituciones desenvuelven el 67% de las mismas. De

<sup>9</sup> Debe señalarse que algunas de ellas comprenden varios proyectos que a su vez son compartidos.

esta manera se pone de manifiesto la disparidad que existe entre los centros en cuanto a su apertura al intercambio y la colaboración con otros grupos, reflejando en cierta medida las diferencias que hay entre ellos en cuanto a infraestructura y disponibilidad de recursos. Las actividades conjuntas de dos o más instituciones del país en materia de energía solar, representan el 70% del total de las mismas, predominando las que conciernen a la conversión fototérmica en comparación con la fotovoltaica. El estudio de la estructura de materiales y la caracterización óptica y eléctrica de las celdas, representa cerca de 20% de los trabajos compartidos en la transformación de la energía solar. El 80% restante corresponde a aprovechamientos fototérmicos: ID de deshidratadores, colectores planos y superficies selectivas, refrigeración, insolación, helioarquitectura y generación helioeléctrica, distribuidas de manera relativamente uniforme entre estas áreas y en las que los colectores planos figuran como el sistema de captación más difundido. Los trabajos en energía solar que los centros mexicanos llevan a cabo con los de otros países del mundo constituyen alrededor del 70% del total de las actividades compartidas internacionalmente; de estos trabajos, más de la mitad (55%) forma parte del convenio de cooperación con la República Federal Alemana, 22% con Francia e igual proporción con Estados Unidos. Sin lugar a dudas, los más importantes por la magnitud de los recursos económicos y humanos comprometidos son los primeros, abarcando los llamados proyectos integrales así como la instalación de laboratorios para el ensayo de colectores solares y celdas fotovoltaicas. En los proyectos integrales, la contraparte alemana aporta todos los sistemas de captación y transformación energética. En lo que respecta a los otros dos países, se comparte la investigación y desarrollo de prototipos en refrigeración solar y concentradores con Francia, y en celdas fotovoltaicas con Estados Unidos.

Las vinculaciones de los centros mexicanos con América Latina no han desembocado todavía en actividades compartidas en energía solar. Sin embargo, se encuentran en vías de concreción varios acuerdos de trabajo relativos a celdas fotovoltaicas con la Universidad de Campinas, Brasil. Este hecho evidencia que a pesar de la voluntad de los distintos centros para desarrollar la cooperación regional, poco es lo que se ha conseguido hasta el presente.

En el campo del aprovechamiento de la biomasa, con fines que no son exclusivamente energéticos, se constata que el 90% de las actividades son compartidas por dos o más centros, siendo esta fuente de energía la que origina uno de los intercambios más intensos. Las actividades a las que se hace referencia comprenden en algunos casos más de un proyecto también compartido. Si se considera el conjunto de éstos (unos treinta en total) se observa una fuerte concentración de los mismos en una sola institución (FEXAC), la que en 1980/1981 intervino en el 80% de las actividades compartidas. La mayor parte de estas últimas se concretaron

con centros de otros países de América Latina, sobre todo de América Central, a través del enlace establecido por OLADE entre los países del área.<sup>10</sup>

### **La influencia de la cooperación en el desarrollo de distintos tipos de tecnología**

La cooperación interna se ha dado principalmente en torno a proyectos con aporte energético específico bajo, tecnologías simples donde predominan los componentes nacionales. Esta evaluación concierne sobre todo a la conversión fototérmica de la energía solar y el campo de los digestores anaeróbicos. La colaboración ha encontrado su expresión más importante en el intercambio de la información técnica que favoreció la concepción y desarrollo de ciertos prototipos, pero también se concretó a través de las actividades compartidas por dos o más centros. Sin embargo, en estos casos, la asociación ha tenido por objetivo aquellas actividades en las que se instrumentan procesos con tecnologías que van de las intermedias a las complejas, siendo precisamente estas características de algunos procesos el fundamento de la cooperación entre centros. El diseño, construcción y operación de digestores industriales y de plantas de tratamiento de aguas urbanas (incluso en comunidades rurales) a las que se puede considerar dentro de los tipos II y III, en los dos sentidos analizados, ha llevado a la cooperación entre distintos grupos de trabajo en nuevas fuentes. En relación a estos tipos de procesos anaeróbicos se ha establecido un intercambio de doble sentido con los países de América Latina, pero prevalece la contribución de los centros mexicanos hacia el exterior, situación que se extiende a los digestores de poca capacidad. En forma paralela, comienza a esbozarse una corriente de cooperación desde algunos países más industrializados hacia México en relación con el aprovechamiento en gran escala de los desechos orgánicos, procesos en los que se atraviesa por un periodo de adaptación y maduración de la tecnología a las condiciones nacionales.

Los proyectos compartidos con otros países no abundan en el campo de las celdas fotovoltaicas, por otra parte, los que se encuentran en preparación se refieren a investigaciones de base y a desarrollos experimentales que comprometen tecnologías de tipo II y III debido a su complejidad. El

<sup>10</sup> Los trabajos en común consisten principalmente en el diseño, construcción y entrenamiento para la operación de biodigestores anaeróbicos de distintas capacidades (de 3 a 30 m<sup>3</sup>), alimentados con mezclas de diferentes tipos.

intercambio más sostenido se da con los países industriales de los que se toman los avances producidos en el conocimiento y producción de fotoceldas. La interacción con centros de América Latina en la conversión fototérmica es mínima, no así la concretada con Europa y Estados Unidos. Los proyectos integrales, las plantas desaladoras y de bombeo de agua, los concentradores y laboratorios solares que se instalan en el país, conforman el grueso de la colaboración externa llegada a México y se ubican por su contenido en tecnología y componentes extranjeras dentro de los tipos II y III, pero además, por su aporte energético específico se les puede considerar como esencialmente intermedios, sin que por ello se exceptúen los casos que caben en los dos extremos.

En síntesis, puede decirse que la influencia de la cooperación internacional en el desarrollo de uno u otro tipo de tecnología varía en intensidad y naturaleza de acuerdo con la fuente de energía y según se trate de países industriales avanzados o de la región latinoamericana. A pesar de ello, tanto hacia adentro como hacia afuera, el intercambio se centra en torno a actividades que comprometen a las tecnologías más complejas, con alto nivel de importaciones, cuando México opera como receptor, y que concierne procesos con impacto reducido a mediano, por el aporte específico de energía. Esta tendencia surgida en los años pasados, parecería prolongarse a corto y mediano plazo a menos que intervengan cambios radicales en la orientación de una cooperación que queda por definir.

## Conclusiones

En México, el desarrollo en conjunto de las NF de energía es un acontecimiento relativamente reciente que puede ubicarse en la segunda mitad de la década de los setenta. La difusión masiva de los sistemas de aprovechamiento de las diversas fuentes no se ha producido aún y, en consecuencia, su aporte a la actual oferta energética es prácticamente nulo. En este marco general, la energía de los yacimientos geotérmicos, constituye la única excepción ya que su explotación se inició en los años cincuenta y en la actualidad contribuye en cerca de 2% a la generación total de electricidad. Sin embargo, es, al igual que las demás fuentes no convencionales una energía marginal frente a los hidrocarburos. La irrelevancia del aprovechamiento de aquéllas se da a pesar de su potencialidad: el país está ubicado en una de las regiones de mayores manifestaciones geotérmicas del mundo, con alta insolación y un extenso litoral marítimo; la importante producción agropecuaria proporciona recursos adecuados

para el aprovechamiento de la biomasa y, además, la capacidad hidroeléctrica de mediana y pequeña potencia todavía no ha sido utilizada.

A pesar de la magnitud de los recursos energéticos de México, comprendidos los convencionales, cerca de la tercera parte de la población total (20 millones de personas)<sup>11</sup> no tiene acceso al consumo de electricidad y una parte importante de ésta se encuentra en situación de subconsumo energético. La población marginal de las ciudades, pero sobre todo la de las zonas rurales del país, constituye el sector más desfavorecido por el desabastecimiento energético. El desarrollo de las NF puede contribuir a paliar las necesidades de la población rural, en particular en las regiones de mayor dispersión de los asentamientos humanos y donde existe un mayor aislamiento. La combinación integrada de los procesos de aprovechamiento de la energía solar, de la biomasa, y, en algunos casos, del viento, de las corrientes y saltos de agua de pequeña potencia, constituyen una opción energética para las zonas indicadas. Su desarrollo no sólo es posible y deseable sino que es necesario porque permitiría mejorar las condiciones de vida y de producción de sus habitantes, teniendo como corolario la creación de incentivos para reducir la fuerte migración rural-urbana originada fundamentalmente en el deterioro de la situación económica del campesinado.

Si bien las NF pueden dar una respuesta a las necesidades energético-productivas de la población rural, también pueden contribuir a un uso más racional de la energía en los sectores residencial e industrial del país. El diseño helioarquitectónico por un lado, y la generación de vapor de media y baja temperatura, por otro, son dos espacios en los que el aprovechamiento de la energía solar favorecería el ahorro de los combustibles convencionales con el consecuente impacto sobre el balance energético sectorial y, adicionalmente, sobre la contaminación ambiental que ha alcanzado niveles críticos en algunas ciudades. Las razones para impulsar el desarrollo de las NF son múltiples y plenamente justificadas.

Los lineamientos que rigen la política energética explicitan la conveniencia de utilizar las fuentes no convencionales, algunos organismos de la administración pública participan en la realización de determinados proyectos y el Estado ha sido el principal financiador de las actividades. Sin embargo, hasta el presente no se ha elaborado y puesto en práctica un programa global para su desarrollo, fundamentado en un análisis exhaustivo de los recursos y de los campos donde la tecnología adaptada o desarrollada en el país permite una acción inmediata, que fije las prioridades en la materia y oriente los trabajos de investigación, desarrollo, producción y difusión de los aprovechamientos. Aún queda por concebir e instrumentar una política fiscal que fomente la producción, comercialización y uso de

11 *Programa de Energía, op. cit.*, pp. 26 y 28.

los equipos de conversión los que, en ciertos casos, se encuentran en desventaja frente a la inversión y costos de operación asociados al uso de energéticos convencionales fuertemente subsidiados.

La ausencia de una política general de promoción de las NF, que comprenda una estrategia de difusión en las zonas rurales, junto con la extremadamente reducida industrialización de los procesos a pesar de la madurez tecnológica adquirida, son, entre otros, factores que convergen conteniendo la extensión de su uso. Por consiguiente, dado el nivel de desarrollo presente de las NF, centrado de manera principal en la ID, no puede preverse un aporte significativo de las mismas a la diversificación de la oferta energética tanto a corto como mediano plazo. En el largo plazo su contribución dependerá de los recursos que se destinen a promover su difusión masiva.

En la coyuntura económica actual el desarrollo de las actividades en NF puede verse seriamente comprometido por la mayor disponibilidad interna de hidrocarburos ante la sobreoferta existente en el mercado internacional y por la crisis financiera que ha llevado a un recorte generalizado de los presupuestos de las distintas instituciones. Si bajo estas circunstancias el Estado redujera su apoyo a los proyectos se postergaría aún más el surgimiento de estas energías como una opción complementaria para un amplio sector de la población del país, se acrecentaría la brecha científico-tecnológica con los países industriales avanzados y se crearía un nuevo espacio de dependencia del exterior. Ante el escaso desarrollo actual de las NF, su auge en el futuro dependerá fundamentalmente de las políticas y de los recursos públicos más que del "libre juego de las fuerzas del mercado". El despegue de las NF requiere un financiamiento de la misma forma que lo han necesitado otras fuentes de energía y en particular la nuclear.

Desde que se inició el proceso de expansión de los trabajos en NF se ha dado un crecimiento continuo de los recursos humanos comprometidos en las distintas áreas. Esta tendencia se prolongaría en el futuro inmediato de acuerdo con los proyectos en ejecución y los previstos para los próximos años.

La conversión fototérmica de la energía solar ha sido el ámbito de actividades que ha impulsado dicho crecimiento, la fuerza de trabajo que participa en éstas excede en forma considerable a la utilizada tanto en la conversión fotovoltaica como en los proyectos relativos a las otras fuentes. Al igual que en el análisis de los demás recursos comprometidos, las obras de aprovechamiento de la energía geotérmica deben considerarse en forma separada, ya que por sí solas absorben un tiempo de trabajo superior al de todas las demás actividades reunidas. Los recursos humanos dedicados a biomasa, energía eólica y de las olas son notablemente escasos en relación a los empleados en energía solar y geotermia, e insuficientes para pensar en aplicaciones masivas.

La fuerza de trabajo no sólo se concentra en estas dos fuentes sino también en un número reducido de institutos que han alcanzado un grado importante de especialización. Los esfuerzos están orientados esencialmente a la investigación básica y aplicada, y muy poco a la difusión amplia de los equipos de conversión.

Entre el personal ocupado, los profesionales altamente calificados junto con los de nivel medio son los grupos que hegemonizan la composición por categorías de los recursos humanos en todas las fuentes. Esta característica estructural concuerda con la naturaleza de las actividades, orientadas a la investigación y a la construcción de plantas experimentales y llevadas a cabo fundamentalmente en centros universitarios o institutos de investigaciones. En México, la relativamente sólida formación de los profesionales, ha permitido que se alcance en un periodo bastante breve, un buen nivel científico y tecnológico en la materia. La continuidad de esta tendencia dependerá en gran medida de los recursos económicos y financieros que se destinen a las NF; a su vez, la modificación de la estructura de la fuerza de trabajo tendrá lugar en función del tipo de actividad, de ID de DM, hacia el cual se orienten dichos recursos.

El mayor uso de la fuerza de trabajo en las actividades fue posible por la asignación de un monto creciente de recursos económicos a distintos proyectos. El incremento notable de dichos recursos en 1981 en comparación con 1980 sería superado por los que se utilizarían en el transcurso de 1982. Esta tendencia está determinada en lo esencial por el mayor gasto pasado y previsto en materia de conversión fototérmica de la energía solar comparado con el de las demás fuentes. En esta evaluación de los recursos económicos se excluyen las centrales eléctricas geotérmicas las que tienen un costo anual de realización nueve a diez veces superior al gasto de las otras fuentes, comprendidos los proyectos de ID en geotermia.

Los recursos económicos empleados en los aprovechamientos fototérmicos se centralizan principalmente alrededor de determinados proyectos: helioarquitectura, generación helioeléctrica y, sobre todo, de los proyectos integrales. El gasto total no se distribuye en forma homogénea entre los centros, sino que, por el contrario, la mayor parte del mismo es efectuado por un reducido número de instituciones. Entre éstas destaca la participación de un organismo de la administración pública comprometido en la realización de los proyectos integrales.

La distribución por fuentes de energía de los recursos económicos reproduce y amplía las diferencias verificadas en el caso de la fuerza de trabajo. En efecto, una participación aún menos importante en la asignación del gasto total cabe al conjunto de la biomasa y de la energía del viento y de las olas, reflejándose el reducido interés que ha suscitado el desarrollo de las mismas.

Los recursos tecnológicos comprometidos en las actividades de nuevas

fuentes se diferencian en dos grandes grupos según las características y la importancia de los centros que intervienen. Por un lado se encuentra el conjunto formado por centros que sólo desarrollan proyectos a los que están asociados procesos con tecnologías relativamente simples y que no requieren de una infraestructura de apoyo demasiado compleja; en muchos casos, basta con un pequeño taller mecánico y pocos instrumentos de medición. Por otro lado, existe un grupo no muy amplio de centros que disponen de talleres y laboratorios provistos con equipos de alta precisión, a veces con sistemas de informática incorporados, y en los cuales se efectúan trabajos de investigación básica pero también de diseño y construcción de prototipos. Esta polarización de los recursos tecnológicos disponibles para llevar adelante los proyectos en NF está estrechamente vinculada con una distribución altamente concentrada de recursos económicos y financieros.

A pesar de esta disparidad, en el conjunto de las actividades se ha adquirido una capacidad científica y tecnológica que permite desarrollar prácticamente la mayoría de los procesos de aprovechamiento de las fuentes no convencionales en las cuales se ha trabajado. Esto es particularmente cierto en relación con el diseño y construcción de los sistemas de captación de energía solar, de biodigestores, de viviendas helioarquitectónicas y en buena medida de las centrales helioeléctricas, pero no tanto en lo que concierne a las celdas fotovoltaicas. Entre los proyectos en curso prevalecen los de bajo aporte energético específico y de reducida escala de producción; sin embargo por las características de los procesos, aquéllos se distribuyen en forma relativamente homogénea entre las tecnologías de fácil desarrollo, por un lado, y las intermedias y complejas por otro.

Puede decirse que la tecnología requerida para la construcción de los sistemas de aprovechamiento no constituye un obstáculo serio para su difusión debido a los progresos realizados tanto en la adaptación como en el desarrollo de la misma.

La capacidad científica y tecnológica actual parece exceder la demanda de la industria para la producción de equipos, esta apreciación debe necesariamente tomarse con precaución ya que podría llevar a la visión equivocada de que los recursos destinados a las fuentes no convencionales de energía son ampliamente suficientes para garantizar su desarrollo. La suficiencia o insuficiencia de los recursos comprometidos en estas actividades no puede evaluarse sino en relación a los objetivos que se piensan alcanzar. Las metas futuras no han sido definidas, pero si las NF en sus distintos tipos, con sus caracteres específicos y con campos de aplicación determinados, deben, de acuerdo con su potencialidad, contribuir a la diversificación de la estructura del abastecimiento energético del país, a la vez que a introducir nuevos patrones y modalidades en el consumo de energía, entonces puede afirmarse que los recursos comprometidos en las

actividades no sólo son insuficientes sino que además las características de su asignación no son las adecuadas. El bloqueo a la extensión del uso de los sistemas energéticos basados en las NF se encuentra en parte en la insuficiente industrialización de los procesos y, por lo tanto, en su reducida comercialización. Hasta el presente, no se ha producido el trasvase de los avances tecnológicos de los centros de ID a la industria que podría fabricar masivamente los equipos. Los costos de producción y comercialización son, en algunos casos, factores que influyen en la menor competitividad de dichos equipos frente a los que utilizan energías convencionales. La falta de una política que contemple la instrumentación de los estímulos necesarios para que se revierta la situación presente y la inevitable desconfianza de los usuarios frente a sistemas sencillos pero poco difundidos y conocidos entre ellos, son factores que se agregan a los señalados.

Las comunidades rurales aisladas, y la población del campo en general, deberían ser los principales beneficiarios del uso de las NF, por ello se hace indispensable la participación directa de los grupos campesinos en la concepción y puesta en práctica de los proyectos en la materia. Una estrategia de difusión que no se apoye en la potencialidad de acción de las comunidades rurales, que no integre la ID a las necesidades y recursos reales de las mismas en las distintas regiones, y que no se inserte en un programa de desarrollo rural integrado corre el grave riesgo de repetir los fracasos de experiencias anteriores.

Los recursos económicos corrientes con que cuentan los centros son reforzados en algunos casos con la asistencia financiera proveniente de distintas instituciones. El financiamiento de las actividades es un factor principal para la realización de los proyectos concebidos en los centros ya sea porque los costea en su totalidad o bien porque aporta el complemento necesario para cubrir el monto mínimo indispensable. Cerca de las dos terceras partes de las instituciones recurren a él y esta proporción tendería a crecer en el futuro.

El financiamiento, que representa alrededor de 40% de los recursos económicos comprometidos por los centros, proviene fundamentalmente de la administración pública y es canalizado a través de las Secretarías de Estado. Esto significa que las actividades en NF desarrolladas en México, se llevan a cabo casi en su totalidad sobre la base de los aportes del Estado ya sea a través de los recursos económicos propios de los centros, o bien por medio de la asistencia financiera a determinados proyectos.

La distribución del apoyo financiero repite las características de doble concentración verificadas en el caso de los recursos económicos y humanos. por un lado la energía solar y, por otro, un número reducido de instituciones, conforman la combinación a la que se destina el grueso del financiamiento. Este hecho restringe las posibilidades de extensión de las otras fuentes, en particular la eólica y la de las olas, y retrasa la

puesta en marcha de los proyectos de centros con recursos económicos reducidos y poco o nulo financiamiento externo.

Los organismos regionales e internacionales han participado en la asistencia financiera pero en una proporción fuertemente menor que el Estado mexicano. Sin embargo, su ayuda sirvió de apoyo a actividades que han estado relegadas en distintos grupos sin recurrir a los canales institucionales, y se basa en el intercambio de información técnica y en la participación en conferencias y seminarios. La concepción aislada de los programas dificulta la coordinación y el trabajo colectivo, llevando en algunos casos a la multiplicación innecesaria de proyectos semejantes.

Los vínculos establecidos por los centros mexicanos con instituciones similares de otros países ocupan un lugar importante en el conjunto de las relaciones entabladas por aquéllos. El intercambio de información es la modalidad prevaleciente en la cooperación entre los grupos de diferentes países habiéndose desarrollado dos flujos desiguales: uno, el más importante, desde los países industriales avanzados hacia México y, el otro, desde México hacia otras áreas de América Latina. Los principales intercambios con los países latinoamericanos se visualizan a través de OLADE quien ocupa un papel importante en el afianzamiento de las relaciones entre centros de distintos países. La geotermia y la biomasa han sido las fuentes en las que se apoyó la cooperación con América Latina y en especial con Centroamérica y el Caribe; paradójicamente la energía solar no constituyó un área significativa del intercambio de México con los países de la región. En fechas recientes ha comenzado a esbozarse la realización conjunta de proyectos relativos a conversión fotovoltaica; sin embargo, aún no se han llegado a concretar los acuerdos para tal fin.

Los centros de México manifiestan un fuerte interés por estrechar vínculos de cooperación con el resto de América Latina. La experiencia ya vivida a través de OLADE constituye un aliciente para dar continuidad a la colaboración internacional que aparece como una necesidad frente al relativo rezago tecnológico del conjunto de países y a la escasez de recursos disponibles. Los responsables de los centros mexicanos insisten en la conveniencia de la cooperación intrarregional ya que en ésta se plantean problemas similares a países entre los cuales la brecha socioeconómica y cultural es menor que la existente con los países industriales avanzados. La existencia de grados de desarrollo no demasiado dispares, la necesidad de responder a la demanda insatisfecha de amplios sectores de la población rural, la disponibilidad de infraestructuras de equipamiento semejantes, en suma, la existencia de intereses comunes surge como un elemento que facilitaría la extensión de la colaboración a otras fuentes así como a un mayor número de países y actividades, potenciaría el uso de recursos escasos y contribuiría a mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la región.

El reducido desarrollo de las NF de energía en relación con su capaci-

dad potencial de responder a las necesidades energéticas del país sugiere la conveniencia de.

1. Convocar a los responsables de los centros del país y promover un debate amplio sobre el estado actual y las perspectivas de la I, ID y DM en el campo de las NF. La discusión deberá esclarecer la problemática actual que bloquea su desarrollo con miras a establecer los mecanismos necesarios para la promoción de las actividades, del intercambio y de la cooperación.

2. Elaborar un programa de desarrollo de las NF de energía, en el marco de la planeación energética global del país. En ambos niveles las NF deben ser consideradas como una opción real para cubrir las necesidades energéticas básicas de vastos sectores de la población así como para diversificar la oferta de energía. Dicho programa deberá establecer los lineamientos de la política relativa a las NF, fijar las prioridades en la materia; orientar los trabajos de investigación, desarrollo, producción y difusión de los aprovechamientos; definir una política de incentivos fiscales para la promoción de las NF a nivel de producción industrial, comercialización y uso de los equipos de conversión.

3. Crear o identificar un organismo nacional que oriente, coordine y promueva las actividades de ID en NF. Esta institución deberá elaborar y mantener un inventario permanente de los distintos centros, de las investigaciones realizadas, en curso y en proyecto actuando como difusora de las mismas, de esta forma se facilitará el acceso a los avances científicos y tecnológicos ya logrados, se evitará la multiplicación innecesaria de esfuerzos en los estudios sobre NF y, por consiguiente, se podrá mejorar la utilización de los recursos disponibles.

El organismo deberá, además, participar en la asignación de los recursos financieros de origen interno y externo, agilizando, en especial en este último caso, la transferencia de los mismos y evitando, así, la postergación innecesaria de los proyectos.

4. Facilitar la consolidación de los centros de menor importancia y promover la creación de otros nuevos descentralizando institucional y geográficamente las actividades en NF. En tal sentido se deberá garantizar un flujo adecuado de recursos económicos a dichos centros, modificando la concentración actual en la asignación de los mismos.

5. Determinar y aplicar los mecanismos económicos, productivos, jurídicos y administrativos necesarios para concretar el desarrollo masivo de las NF generando una interacción sostenida entre la industria y los centros de investigación. De esta manera la innovación y adaptación tecnológicas deberían verse reforzadas por la contribución mutua de la producción industrial y de los grupos de ID. En esta perspectiva debe llevarse a cabo un estudio sobre la capacidad tecnológica y de producción industrial para las NF con precisión de las limitaciones que plantea el grado de disponibilidad de recursos humanos, económicos y financieros.

6. Puesto que uno de los principales beneficiarios del aprovechamiento de las NF será la población de las zonas rurales, la participación activa de las comunidades campesinas en el desarrollo y difusión de las mismas es indispensable. La ID en la materia debe orientarse según las necesidades reales del campesinado y por lo tanto promover equipos con tecnologías simples en su aplicación y mantenimiento. La incorporación de las NF a los hábitos de producción y de vida de la población rural depende en buena medida del interés despertado en el campesino por la opción que se le brinda, su participación en la concepción y ejecución de la obra y los conocimientos que extraiga de la misma.

7. La falta de una definición y evaluación precisas del potencial energético proveniente de las NF plantea la necesidad de organizar y llevar a cabo un estudio que determine el monto de las reservas de las fuentes no convencionales de energía.

8. Analizar cuáles son los campos de los distintos sectores consumidores, en áreas urbanas y rurales, donde podría desarrollarse el uso de las NF sobre la base de los aprovechamientos cuya tecnología ya es conocida o bien simple de adaptar a las condiciones del país.

Del análisis del estado del intercambio y la cooperación entre los centros del país y los del exterior, en particular de América Latina, se concluye que es conveniente:

1. Apoyar y consolidar los organismos energéticos regionales ya existentes (OLADE) y considerar la posibilidad de crear un centro latinoamericano que aborde específicamente los aspectos técnicos, socioeconómicos, jurídicos y políticos relacionados con las NF de energía.

2. Fomentar el intercambio de profesionales entre centros para agilizar la formación de los recursos humanos destinados a estas actividades.

3. Crear un centro latinoamericano de enseñanza en materia de NF e impulsar las reuniones de expertos en seminarios, conferencias y congresos regionales.

4. Buscar los mecanismos adecuados que permitan un intercambio intenso y continuo de la información así como de los progresos logrados en las distintas áreas; en esta dirección se propone la creación de una red latinoamericana de información en NF.

5. Detectar las áreas de interés común y establecer programas de trabajo en proyectos compartidos por varios centros de manera de potenciar los esfuerzos de ID y evitar su duplicación innecesaria.

6. Procurar el financiamiento necesario para el desarrollo de proyectos conjuntos y la constitución de centros regionales por fuente de energía; con tal objetivo es conveniente crear un fondo regional con aporte de los

países latinoamericanos, de organismos internacionales, de los países industrializados y probablemente de los países exportadores de crudo más importantes.

Los aspectos señalados constituyen un esbozo reducido y preliminar de algunos elementos necesarios para la formulación de una política nacional y regional de desarrollo y cooperación en el campo de las llamadas nuevas fuentes de energía.

## INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN APOYO DE LA GEOTERMIA

*Pablo Mulás y  
Sergio Mercado*

El desarrollo de los proyectos geotérmicos para generar electricidad, al igual que los hidroeléctricos o termoeléctricos, es función de la Comisión Federal de Electricidad. El Instituto de Investigaciones Eléctricas realiza actividades de investigación y desarrollo con el fin de apoyar a la CFE en la instalación y operación de las centrales geotermoeléctricas.

El estado actual de desarrollo de la energía geotérmica en México se ha enfocado principalmente a dos grandes regiones geotérmicas, el valle de Mexicali y el Eje Neovolcánico, en los cuales se encuentran gran parte de los 400 sitios con alteraciones hidrotermales que se tienen clasificados actualmente.

En el valle de Mexicali, situado en el noroeste de México, se tiene actualmente el mayor desarrollo geotérmico. En 1973, dos unidades de 37.5 MW cada una, iniciaron su operación utilizando vapor separado de 5.3 kg/cm<sup>2</sup> extraído de los pozos. En 1979, entraron en operación otras dos unidades similares, para completar un total de 150 MW de capacidad instalada.

Los pozos que alimentan dicha central denominada Cerro Prieto I, producen una mezcla de agua-vapor. En cada pozo se tiene un separador operando a 7 kg/cm<sup>2</sup>. El vapor se conduce a la unidad de generación y la salmuera a una laguna de evaporación, desechándose una elevada cantidad de energía. Después de analizar la situación, el IIE propuso a la CFE la factibilidad de generar 30 MW adicionales mediante evaporación instantánea de la salmuera caliente a presiones de 3.5 y 1.5 kg/cm<sup>2</sup> utilizando una turbina de doble presión. Esta última unidad entró en operación en 1981.

Actualmente dos centrales más, Cerro Prieto II y Cerro Prieto III, están en construcción. Cada central tendrá dos unidades de 110 MW, con lo cual Cerro Prieto tendrá para 1985 una capacidad instalada de 620 MW.

Adicionalmente en los alrededores de Cerro Prieto, en el valle de Mexicali, se efectúan exploraciones profundas, habiéndose detectado temperaturas medias y elevadas en pozos perforados en Riíto, Tulechek, Aeropuerto, etcétera, en donde existen elevadas probabilidades de contar con reservorios

explotables económicamente. En el valle de Mexicali se ha estimado una capacidad instalable del orden de 1500 MW.

La otra región geotérmica está localizada en la parte central del país y se denomina Eje Neovolcánico. Consiste en una franja de varios kilómetros de ancho y 900 km de largo con más de 3 000 aparatos volcánicos y un elevado número de manifestaciones hidrotermales. Actualmente se efectúan exploraciones superficiales y perforaciones profundas en 15 sitios, concentrándose los esfuerzos en Los Azufres, Mich., La Primavera, Jal., y Los Humeros, Pue.

En Los Azufres se tienen 30 pozos perforados, siendo la mayor parte excelentes productores, con suficiente vapor para instalar 90 MW. Un estudio preliminar del reservorio indicó una capacidad instalable de 300 MW.

La primera unidad de Los Azufres, tendrá una capacidad de 55 MW, la cual entrará en operación en 1986. Actualmente, se tienen cinco unidades de 5 MW cada una, instaladas a boca de pozo, dos de éstas operan con pozos de vapor seco y tres con pozos de agua-vapor, siendo necesario reinyectar la salmuera de desecho debido a que contiene un elevado contenido de boro.

En el campo de La Primavera, localizado a unos cuantos kilómetros de Guadalajara, se tienen 4 pozos exploratorios, los cuales reportaron elevada temperatura de fondo y descargas medias de agua-vapor.

En el campo Los Humeros se han perforado cuatro pozos exploratorios profundos con excelentes resultados, teniéndose temperaturas de fondo de más de 300°C, producciones de vapor separado de hasta 70 ton/hr y un pozo de vapor seco.

La CFE tiene programado alcanzar como mínimo una capacidad instalada de 4000 MW para el año 2000, la cual se considera totalmente factible con base en los resultados obtenidos en las exploraciones mencionadas.

Para dar apoyo a la CFE en lo anterior, se creó en el IIE el Programa de Geotermia en 1977. Este programa se estructuró inicialmente con base en consultas directas o reuniones realizadas principalmente con personal de la CFE, universidades e IIE, con el fin de fijar prioridades en la solución de los problemas que existían, buscando que éstos tuvieran una relevancia práctica en el diseño y operación de las centrales.

Como el IIE era de reciente creación, fue necesario tener actividades que desarrollaran infraestructura tanto humana como de laboratorios, por lo cual las consultas y reuniones arriba mencionadas tuvieron una importancia primordial.

También se decidió que cuando existieran grupos en otras instituciones con la experiencia requerida en ciertas áreas, el Instituto no las duplicaría, pero les daría apoyo a través de contratos y subvenciones.

Las actividades del programa se pueden agrupar en tres áreas principa-

les: exploración, desarrollo del campo y explotación, incluyendo la generación eléctrica.

## Exploración

En el área de exploración, tomando en cuenta que existen en México grupos orientados a la investigación geofísica, se acordó que a través del Instituto se debía reforzar y apoyar esos grupos. Con el apoyo financiero de la Comisión y del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, se concretaron tres proyectos con grupos de investigación del Centro de Investigación Científica y Enseñanza Superior de Ensenada y de los Institutos de Geofísica y de Investigación en Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México. El primero ha desarrollado capacidad y ha obtenido resultados útiles para la modelación de las fallas geológicas del valle de Mexicali, utilizando resultados de observaciones realizadas durante la ocurrencia de microsismos. Estos estudios continúan en el campo de Cerro Prieto y se han realizado algunas observaciones en los campos de Los Azufres y La Primavera. El mismo grupo de geofísicos del CICESE ha creado la infraestructura, con el mismo apoyo mencionado, para evaluar la utilidad que tiene el método magnetoteléurico en la exploración geotérmica, habiendo terminado su primer estudio de campo en la zona de Culiacán, Sinaloa, y con próximas observaciones a realizarse en los campos de Los Azufres y Cuitzeo. Por último, entre las dos últimas instituciones mencionadas, se realizó un estudio para determinar qué tan útiles pueden ser las observaciones por medio de sensores remotos (en aviones o satélites) para detectar nuevos yacimientos geotérmicos o dimensionar los ya conocidos.

Por otra parte, en el área geoquímica, se ha desarrollado capacidad para analizar e interpretar información geoquímica obtenida en la prospección geotérmica y para la caracterización de yacimientos y seguimiento de su historia de exploración. Se ha realizado bajo contrato con la Organización Latinoamericana de Energía, la interpretación geoquímica de manifestaciones termales localizadas en Guatemala, Nicaragua, Jamaica, Haití, República Dominicana, Perú y Ecuador. En lo que respecta a la exploración geotérmica a nivel de estudios de prefactibilidad y factibilidad, se tiene capacidad para el muestreo y análisis químico e isotópico de fluidos de emanaciones naturales, y el análisis químico y mineralógico de depósitos sólidos asociados, así como la capacidad de interpretación geoquímica de los datos en la localización de zonas de alta temperatura, caracterización de fenómenos de mezcla de fluidos subterráneos, etcétera. En la investigación relacio-

nada con estas actividades, se tiene firmado un convenio de colaboración con la United States Geological Survey.

Los laboratorios necesarios para realizar estas actividades están localizados tanto en Cuernavaca como en Cerro Prieto y Los Azufres.

### **Desarrollo del campo**

En el área del desarrollo del campo, se ha creado recientemente una capacidad propia para estudiar problemas relacionados con los lodos de perforación, los cementos, la corrosión y las incrustaciones en las tuberías de los pozos, la determinación de propiedades físicas de las rocas del yacimiento para ser utilizadas en los modelos numéricos que permitan realizar la ingeniería de los reservorios, el análisis de pruebas de pozos, y se han iniciado esfuerzos en cuanto a la utilización de simuladores matemáticos complejos de yacimientos.

Bajo contrato con la Comisión, se han monitoreado las propiedades fisicoquímicas y geológicas de los lodos de perforación utilizados en algunos de los pozos de Los Azufres, tratando de correlacionar la degradación de los mismos con problemas surgidos en la operación. Se han hecho esfuerzos por encontrar soluciones a los mismos, buscando materiales que resistan las condiciones del medio durante la perforación. En cementos, además de las pruebas de laboratorio, se realizan análisis de pruebas de campo a fondo de pozo, en conjunto con la Comisión, el Brookhaven National Laboratory, el National Bureau of Standards y varias instituciones de investigación como el Southwest Research Institute y compañías privadas cementadoras de pozos como la Halliburton, para determinar normas API de cementos geotérmicos.

También bajo contrato con la Comisión, está en estudio el diagnóstico de la corrosión de las tuberías de los pozos del campo de Cerro Prieto, buscando elucidar su tipo y los mecanismos que la causan y evaluar qué materiales son los más adecuados para resistir este fenómeno. Paralelamente, se está realizando un estudio sobre la caracterización y evaluación de las incrustaciones que se forman en las tuberías y que tienden a bloquearlas disminuyendo el gasto de mezcla agua-vapor del pozo.

En las actividades relacionadas con la ingeniería de yacimientos, es decir, con la caracterización del yacimiento en diferentes condiciones de explotación, se ha hecho un esfuerzo importante para crear una infraestructura adecuada para apoyar a la Comisión. En estas actividades, se ha tenido a su vez un apoyo importante del personal del Departamento de Ingeniería Petrolera y Geotérmica de la Universidad de Stanford, con la que se tiene

firmado un acuerdo de colaboración. Se acaba de instalar un simulador físico de las condiciones de yacimiento para medir propiedades físicas de núcleos obtenidos en la perforación, las que posteriormente serán utilizadas en los modelos numéricos del yacimiento; algunas de estas propiedades son permeabilidad, porosidad, compresibilidad y conductividad térmica.

Se ha desarrollado capacidad para analizar los resultados de pruebas de pozos en el campo, como son pruebas de decremento e incremento de presión y pruebas de interferencia. Estas son importantes en tanto que proporcionan información útil sobre las condiciones del pozo y algunas propiedades del yacimiento tales como la transmisibilidad, la existencia de barreras al flujo, etcétera. Aunado a esto, se tiene la capacidad para simular numéricamente el flujo en el mismo pozo en diferentes condiciones de operación.

La capacidad para realizar e interpretar pruebas con trazadores en los pozos está en desarrollo con el fin de detectar conductos de alta permeabilidad entre pozos, importante en los esquemas de reinyección, así como proporcionar información útil en la medición de las reservas. Se han iniciado actividades relacionadas con la utilización de simuladores numéricos complejos que sirven para cuantificar las reservas y optimizar la explotación del campo.

En la caracterización de yacimientos, y seguimiento de su historial de explotación por métodos geoquímicos y petroquímicos y petrográficos, se tiene capacidad para el análisis químico e isotópico de fluidos geotérmicos, en análisis químico y mineralógico de recortes de perforación, y para la interpretación de la información resultante en la generación de un modelo geoquímico-hidroológico que podría indicar la zona de recarga, la dirección general del flujo subterráneo, la posible mezcla de fluido geotérmico con acuíferos fríos adyacentes, la posible existencia de dos o más acuíferos en un yacimiento o de distintos regímenes termodinámicos en éste y la localización de la fuente de calor.

### **Explotación y generación eléctrica**

En el área de explotación y generación eléctrica es donde mayor esfuerzo se ha desarrollado. Esta cubre desde actividades de ingeniería básica y todos los estudios asociados a ella, hasta actividades de investigación en otros procesos para aprovechar la energía geotérmica en la generación eléctrica.

Considerando que cada yacimiento geotérmico tiene sus propias características físicas y químicas, la optimización del diseño de las instalaciones requiere un desarrollo particular en ese sitio. Por esta razón, el Instituto se

ha involucrado en la ingeniería básica de este tipo de centrales y en la ingeniería de detalle de algunos procesos no convencionales.

Se ha realizado bajo contrato con la Comisión, la ingeniería básica de la unidad 5 de baja presión de Cerro Prieto I, así como la ingeniería de detalle de la planta de evaporación de la misma. Esta unidad corresponde a una potencia de 30 MW producidos por vapor generado en dos etapas de evaporación a mediana (50 psig) y baja presión (21 psig), utilizando la salmuera de desecho de las etapas originales de evaporación que surten vapor a las unidades 1, 2, 3 y 4 de Cerro Prieto I. La adición de esta quinta unidad incrementó la eficiencia del aprovechamiento energético del campo en un 20%. Se debe hacer notar que no se perforaron más pozos para la instalación de esta unidad. También se terminó para la Comisión, la ingeniería básica de las centrales Centro Prieto II y Cerro Prieto III, cada una con dos unidades de 110 MW con turbinas de presión mixta. Se dio apoyo a la Comisión en la evaluación de las ofertas para la adquisición de las plantas de 5 MW a boca de pozo para el campo de Los Azufres, así como en ciertas consultas técnicas específicas, como por ejemplo en el trazo y diseño de tuberías de conducción de mezcla. La infraestructura que se ha desarrollado en esta área ocasionó que la Cía. Stone and Webster contratara al Instituto como consultor principal para su propuesta en el concurso de la instalación de la central geotermoeléctrica de Miravalle, Costa Rica.

Una de las actividades que se han desarrollado es la preparación de manuales de diseño para las instalaciones que se han venido describiendo, ya que no existe información sobre ellas debido a lo novedoso de este tipo de central. Se ha dado el primer paso en relación al diseño de separadores y evaporadores de tipo Webre, diseño original neozelandés, para el cual no existe un método de predicción de la eficiencia de operación ni se conoce de manera cuantitativa la influencia que tienen en el comportamiento los diferentes parámetros; usualmente, en el diseño influye en gran medida la experiencia y sentimiento del diseñador.

En la misma situación se encuentra el caso de los silenciadores de vapor que se utilizan en el sistema de regulación del suministro de vapor a la turbina al seguir la demanda eléctrica, ya que no es posible realizar esta regulación en cada pozo, y en los silenciadores de salmuera-vapor, los cuales están colocados a boca de pozo para tener una ruta de descarga a la atmósfera del gasto del pozo en caso de cualquier eventualidad.

En estos proyectos se están desarrollando métodos semi-teóricos para cubrir estas deficiencias y facilitar el diseño de instalaciones de este tipo para la Comisión.

El diseño de las tuberías para conducir flujo en dos fases no es común; existe bastante información sobre la conducción de fluidos en dos fases cuando la tubería está en posición vertical, pero hay pocos estudios cuando está en alguna otra posición. Con base en experimentos realizados en el

campo de Cerro Prieto, se han validado los análisis teóricos, lo que ha permitido el diseño de este tipo de tuberías. Debido a la importancia que este aspecto guarda en las instalaciones de campo, se ha diseñado un laboratorio de mecánica de fluidos para instalarse en el campo como plataforma de pruebas con el fin de estudiar más a fondo el comportamiento de fluidos, compuestos por dos fases y movimiento, en los diferentes tipos de equipos que se utilizan en las centrales geotermoeléctricas. Este laboratorio se construirá próximamente en el campo de Cerro Prieto.

Debido a que ciertas condiciones de operación de las instalaciones del campo pueden ser peligrosas para la central y a la conveniencia de tener la mayor cantidad de datos sobre la operación del mismo, se ha diseñado para el campo de Los Azufres un sistema de medición de parámetros y adquisición de los mismos. Como ejemplo típico del tipo de alarmas que son necesarias, se tiene la del nivel de salmuera en el separador, ya que en condiciones anormales debido a un alto nivel de la misma, el vapor acarreará una elevada cantidad de salmuera que puede dañar la turbina.

El diseño incluye la utilización de unidades terminales remotas, que centralizan la información por áreas, y que están conectadas a un puesto central donde se almacenarán y procesarán los datos adquiridos. Actualmente está en estudio la realización de esta instalación por parte de la CFE.

Un importante problema técnico relacionado con la operación de las centrales geotermoeléctricas son las incrustaciones que ocurren debido a la alta concentración de sales en el fluido que se extrae del subsuelo. Al separarse el vapor del fluido y los gases disueltos en él, aumenta la concentración de la salmuera al mismo tiempo que disminuye su temperatura.

Estos cambios físicos y químicos repercuten en el sistema químico de sales disueltas en el fluido, lo que afecta el equilibrio de dicho sistema. Como resultado, algunos compuestos precipitan y forman incrustaciones en las paredes de las tuberías o del recipiente que las contiene, quedando otros en suspensión. La incrustación en las paredes de los equipos reduce su eficacia en la operación, ya que en un momento dado no está disponible porque se necesita limpiar.

A través de las investigaciones de campo realizadas en Cerro Prieto, donde hasta la fecha se manejan los fluidos con mayor contenido de sílice, el Instituto ha desarrollado bajo contrato con la Comisión, metodología para la prevención y eliminación de incrustaciones. Se ha estudiado la remoción química y mecánica, la cinética de polimerización del sílice al efectuar cambios de pH y el uso de inhibidores. Se tiene experiencia para definir presiones de operación en los equipos de evaporación a baja presión para minimizar este problema.

Para estos propósitos, se cuenta en Cerro Prieto con instalaciones a nivel laboratorio y piloto para realizar la experimentación.

Los fluidos de desecho de las centrales geotérmicas deben manejarse en forma apropiada para evitar la contaminación ambiental. La reinyección de la salmuera al yacimiento es una opción, que ofrece la ventaja adicional de recargarlo térmica e hidráulicamente. La salmuera, con un alto contenido de sílice y sólidos totales, debe tratarse para eliminar los excesos existentes por sobresaturación, antes de reinyectarse, ya que podría formar incrustaciones y taponamientos indeseables en las tuberías y el yacimiento. El Instituto ha experimentado algunos tratamientos y determinó el más económico para Cerro Prieto que, en breve, se tiene planeado efectuar a escala comercial.

La recuperación de las sales que contiene la salmuera de desechos es otra opción para el control ambiental en campos geotérmicos. Además, la recuperación de sales, tales como el cloruro de potasio, que se usa como fertilizante en la agricultura, y el cloruro de litio, el cual es un material estratégico para los reactores nucleares de fusión, representa importantes ventajas económicas.

En este aspecto el Instituto cuenta con capacidad para determinar la factibilidad técnica y el método más económico de recuperación. Se tiene experiencia tanto en la operación de plantas piloto de separación como en la concentración y cristalización de sales a través de estanques de evaporación solar.

Al respecto, el Instituto diseñó y construyó una planta piloto de extracción de cloruro de potasio en Cerro Prieto, con los estanques de evaporación correspondientes para una capacidad de procesamiento de media tonelada diaria.

Con base en los resultados obtenidos en esta planta, Fertilizantes Mexicanos decidió instalar una planta de extracción de cloruro de potasio de 80 mil toneladas anuales en Cerro Prieto, que se encuentra en proceso de diseño y construcción. Con ella se cubrirá un alto porcentaje de las necesidades nacionales de este fertilizante.

En el presente, también se realiza una evaluación técnico-económica de diferentes métodos para eliminar el ácido sulfhídrico que está presente en la salmuera, que producen los pozos. Parte de este gas se queda disuelto en la salmuera, pero una parte importante se desprende y se mezcla con el vapor. Los estudios realizados en Cerro Prieto muestran que éste no es un problema ambiental, ya que las concentraciones en los alrededores son menores que las especificadas por la legislación correspondiente. La evaluación mencionada se realiza considerando que otros campos del centro del país ya en exploración, se encuentran en sitios más cercanos a áreas de elevada densidad de población y posiblemente se requerirá resolver dicho problema.

Bajo contrato con la Comisión se diseñó e implantó un sistema computarizado (SICEP) para captar, almacenar y reproducir la información

técnica generada hasta la fecha en el campo de Cerro Prieto y la que se generará en el futuro.

Como ejemplo del tipo de información que se capta y almacena, están los datos geológicos, geoquímicos, geofísicos y termodinámicos que se obtienen durante la perforación, inducción, calentamiento, desarrollo, operación y reparación de los pozos, así como datos y especificaciones de materiales, accesorios, partes y equipos que se utilizan durante la perforación, terminación, mantenimiento y reparación de los mismos. También se capta y almacena información de tipo operativo de las actividades relacionadas con el desarrollo y mantenimiento del campo.

El sistema tiene capacidad limitada para procesar estos datos con el fin de producir gráficas, estadísticas de comportamiento y algunos cálculos técnicos específicos de acuerdo con las necesidades de los diferentes grupos relacionados con la operación del campo.

Se realizaron estudios comparativos de eficiencia de conversión energética entre diferentes procesos para transformar la energía geotérmica a energía eléctrica, por ejemplo evaporación en una, dos o tres etapas, flujo total, ciclo binario y sistemas híbridos, encontrándose que éstos últimos, como por ejemplo el de evaporación-binario, son en general los más eficaces.

Debido a la gran cantidad aparente de yacimientos geotérmicos de baja entalpia, así como al posible aprovechamiento de la energía contenida en los fluidos de desecho, la Comisión le encargó al Instituto evaluar la problemática para la utilización del ciclo binario en la generación eléctrica. En el campo de Los Azufres se tienen operando dos plantas piloto de 10 y 50 KW.

La operación de esta última planta, a la fecha, se ha realizado con vapor separado, y en el presente año se piensa operarlas con salmuera de desecho. El principal problema al que se ha enfocado la investigación, se relaciona con las incrustaciones en el intercambiador de calor, realizándose estudios con intercambiadores de lecho fluidizado y, en el presente año, de tipo de contacto directo.

En relación con las máquinas de flujo total, se dio apoyo a la Comisión durante la prueba de uno de estos equipos, propiedad de la Agencia Internacional de Energía, que se realizó en el campo de Cerro Prieto. Dicho apoyo consistió en el análisis de las observaciones sobre el comportamiento de la máquina durante su operación. Los resultados de la prueba mostraron que la máquina opera satisfactoriamente en las condiciones a las que fue expuesta, aunque es posible optimizar el diseño con el fin de mejorar sus índices y características de operación.

En el programa de geotermia participan cuatro de las cinco divisiones del Instituto: Fuentes de Energía, Estudios de Ingeniería, Equipos y Adiestramiento y Comunicación. En el presente se encuentran trabajando a tiempo completo 70 investigadores y 20 técnicos.

El futuro de nuestro programa de geotermia está estrechamente ligado a los planes de la Comisión Federal de Electricidad en el aprovechamiento de la energía geotérmica, y por lo tanto, no puede ser más que promisorio en nuevos retos y grandes cantidades de trabajo, situación que nos alegra y enorgullece al tener la oportunidad de contribuir al desarrollo de esta nueva fuente de energía.

Este libro se terminó de imprimir en el mes de noviembre de 1983 en el Taller de Comunicación Total, S.A., Yácatas No. 438, casa 2, Col. Narvarte. Se tiraron 1,000 ejemplares más sobrantes para reposición. Diseñó la portada Mónica Diez Martínez. Cuidó de la edición el Departamento de Publicaciones de El Colegio de México.



## PROGRAMA DE ENERGETICOS

En medio del caos y la incertidumbre prevalecientes en los mercados internacionales del petróleo, acompañados de la profunda crisis económica que está padeciendo México, el Programa de Energéticos de El Colegio de México ha dirigido recientemente su atención a los problemas económicos y tecnológicos que surgen de la necesidad de readaptar la política energética nacional a las condiciones que han quitado la validez a la tesis, de moda hace apenas un par de años, que sostiene que el petróleo es y será el pivote del desarrollo socioeconómico del país.

De los nueve ensayos contenidos en este volumen unos, fueron elaborados durante el año 1982 por investigadores del Programa de Energéticos y otros, presentados en las reuniones auspiciadas por éste, por especialistas gubernamentales o académicos que cooperan desde fuera en las actividades de El Colegio de México.