

Análisis energético de México

por
ALFONSO BALLESTEROS M.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de México en las tres últimas décadas ha sido vertiginoso, y de haber sido fundamentalmente agrícola, a la fecha las actividades industriales sobrepasan con amplio margen a las demás. El País ya cuenta con grandes complejos industriales en diversos estados de la República, las redes de comunicación se han ampliado enormemente, por otra parte la explosión demográfica alcanza grandes proporciones: México se aproxima ya a los 56 millones de habitantes.

La cantidad de energía que demanda el País es tal, que las estadísticas previenen duplicar su consumo cada diez años, esto implica que la capacidad eléctrica instalada se duplique cada seis años. La sociedad actual se caracteriza por su avidez de energía, la cual se manifiesta en las diversas áreas de utilización: doméstica, industrial, transporte, agrícola, etc.

Siendo energéticos el petróleo y gas, hidroeléctrico, el carbón mineral, geotermia, etc., los suministradores de la energía, es de sumo interés efectuar este Análisis energético de México el cual dará una buena idea respecto al estado que guardan en el contexto nacional.

I. *Balance energético en la década de los 70s.*

1. Origen de los energéticos:

1.1 *Combustibles fósiles en el mundo*

Las mayores fuentes de energía almacenada (no nuclear) son sin duda los combustibles fósiles: carbón y productos petroleros (petróleo y gas).

Las reservas mundiales iniciales de carbón y lignito se estiman en 7.6×10^{12} toneladas, de las cuales se han consumido: 0.135×10^{12} ton. que representan el 1.8%. Por lo que a crudos se refiere, inicialmente las reservas eran: $2\,000 \times 10^9$ barriles, de los cuales se han consumido 227×10^9 barriles expresado en porcentaje: 13%.

El pico de producción de crudos ocurrirá tal vez cerca del año 2000 y el de producción de carbón quizá en el año 2150.

Según datos de la VI Conferencia Mundial de la Energía, existe en el mundo una reserva explotable de carbón diez veces superior a la del petróleo y gas; sin embargo los datos recopilados por las Naciones Unidas revelan que las reservas probables de carbón podrán llegar a ser cien veces mayores que las comprobadas de petróleo y gas.

Analizando desde el punto de vista energético los países altamente desarrollados, se puede constatar con cierta facilidad que uno de los mayores responsables de ese desarrollo es el carbón. Casos concretos: EE.UU., Alemania, Inglaterra, etcétera.

Desde luego no se ha de subestimar al petróleo ligado estrechamente con todas las formas de transportación, e innumera-

bles actividades involucradas con el uso de la energía.

Es de interés resaltar que países como los EE.UU. que padecen hoy en día una "crisis energética", pues la demanda crece a mayor velocidad que la producción, trabajan activamente para resolverla a corto plazo con:

- a) Licuefacción del carbón.
- b) Reactores de cría.

Para terminar con el enfoque a nivel mundial se puede agregar la siguiente información respecto a combustibles fósiles. Las necesidades energéticas en plantas de generadoras de electricidad:

1 9 6 7 *

- 31% del carbón consumido en el mundo.
- 48% del lignito consumido en el mundo.
- 16% del gas natural consumido en el mundo.
- 7% del petróleo consumido en el mundo.

1.2 Combustibles fósiles en México

Petróleo y gas

Las necesidades energéticas en la República Mexicana son satisfechas en alto grado por los hidrocarburos: 90%. Esa cifra resulta alarmante, contemplada desde enfoques tan diversos como:

- a) No existe evidencia alguna de que la reserva de hidrocarburos sea de órdenes de magnitud tan grandes para justificar tan altísimo consumo.
- b) De acuerdo con una política energética coherente, es inaceptable que una sola fuente de energía soporte esta pesada carga.

c) Un hecho que fortalece lo que se señala en el inciso anterior es que la demanda de productos petroleros aumenta en México a una tasa anual superior a la producción: demanda 9%; producción 7.4%.

ch) En 1972 PEMEX se vio obligado a importar 1 575.6 millones de pesos de petróleo crudo de Venezuela para cubrir el faltante.

d) Aun siendo PEMEX una de las compañías más grandes de América Latina no puede desarrollarse con una economía sana, ya que suministrar a la mayor parte energía del País, le impide crecer con sus propios recursos financieros; la exploración y la explotación día con día cuestan más y las exigencias del país van siendo cada vez mayores.

En 1970 la reserva petrolera se estimaba en: $5\,568 \times 10^6$ barriles, de los cuales 41% correspondía a gas natural y 59% a aceite y condensado. A mediados de 1972 la reserva era de: $5\,428 \times 10^6$ barriles. Por otra parte la relación entre las reservas y la producción cayó del nivel mínimo aceptable 17:1.

PEMEX calcula que para poder satisfacer la demanda nacional debe aumentar en los próximos 6 años al nivel de reserva de 8 000 a $9\,000 \times 10^6$ barriles; no está de momento a discusión la existencia de reservas de hidrocarburos:

"El análisis del potencial del subsuelo mexicano, revela que hemos explotado una décima parte de las áreas que por métodos geológicos se consideran como posible almacenadoras de crudo y de gas."

(Informe del Director de PEMEX: 18-III-73, Tula, Hgo.).

Lo que sí implica un grave problema, son los recursos financieros para localizar y explotar estos depósitos.

* Es la información disponible más reciente.

Se menciona mucho la plataforma continental del Golfo de México, como zona muy prometedora: según los especialistas, ese tipo de perforaciones cuestan más de 10 veces que las de tierra firme.

La situación que se señala, desde puntos de vista económicos y de planeación debe ser motivo de honda preocupación y desde luego de acciones inmediatas que permitan a PEMEX desarrollarse sanamente, lo que incluye un enfoque más amplio a la petroquímica.

La única alternativa es dar impulso a otro energético, en la medida que los estudios previos lo vayan justificando; puede pensarse en:

- A) Carbón mineral.
- B) Potencial hidroeléctrico.
- C) Potencial geotérmico.
- CH), Minerales para obtener combustibles nucleares.
- D) Otros.

A) *Carbón mineral*

Es el interés de este trabajo, obtener conclusiones que obedezcan a la situación real de los energéticos en México. El caso del carbón ha sido motivo de grandes polémicas debido a lo contradictorio de los datos existentes, razón por la cual hubo que hacer todo un levantamiento de esa información, estudiarla, compararla y juzgarla.

Antecedentes.

La exploración y explotación del carbón en México según algunos autores, se remonta hacia 1850; sin embargo la existencia de grandes yacimientos en la zona norte del país, se confirmó en el año de 1866, y se mencionaba con énfasis la cuenca carbonífera de Sabinas, localizada 125 km al sur de Piedras Negras, Coah.

En aquella época la utilización del carbón era primordialmente en los ferrocarriles y en menor escala en la industria minera. Ya para 1900 la industria side-

rúrgica, empezó a utilizar el carbón coquizable, en escala comercial, más tarde a causa de la Revolución y a que se introdujeron las locomotoras diesel, la producción descendió sensiblemente (1916).

Pasada esa crisis, en 1925 se explotaron cerca de 1 500 000 toneladas; más adelante ha sufrido por causas diversas, altas y bajas hasta 1950, y a partir de entonces, ha ido en aumento la producción, al respecto el Consejo Nacional de Recursos Naturales no Renovables (CNRNNR) da los siguientes datos en lo que se refiere a coque.

1950:	160 051 toneladas
1960:	469 472 toneladas
1970:	1 460 480 toneladas

Cabe mencionar que para producir una tonelada de coque siderúrgico se requieren un poco más de 2 ton. de carbón coquizable "todo uno", es decir tal como se extrae de la mina; así para la obtención del coque producido en 1970 fueron necesarias 3 286 070 ton. de carbón.

Hay dos hechos que pueden observarse con claridad en la información existente:

1o. El 100% de la producción actual de carbón mineral proviene de las minas explotadas en el Estado de Coahuila.

2o. La producción de carbón mineral se ha enfocado en particular a las necesidades de la industria siderúrgica (90%).

Respecto al punto primero es de interés mencionar que los estudios geológicos preliminares, los afloramientos de los mantos de carbón y estudios de diversa índole, efectuados en otros estados de la República, acusan datos muy prometedores, destacando los de Sonora, Chihuahua, Nuevo León y Oaxaca; sin embargo la exploración formal no se inicia todavía.

Tocante al punto segundo se puede decir basándose en los datos conocidos, que la industria carbonífera del País ha sido y es una industria aleatoria de la siderúr-

gica; las razones son muchísimas, y se pueden mencionar entre otras:

1. No se ha diversificado su uso.
2. La industria carboquímica que es tan importante como la petroquímica para la Nación, no se ha impulsado.
3. Tampoco se ha impulsado como energético; tan sólo el 0.53% de la generación de energía eléctrica proviene del carbón.
4. Uno de los problemas fundamentales está enfocado sobre la legislación en materia de concesiones mineras.
5. No existe una amplia explotación carbonífera por la poca demanda de este producto en el País. El carbón no se utiliza a causa de la limitada producción nacional.
6. La demanda energética se ha estructurado según la ha obligado la oferta, lo cual no implica necesariamente, que se ofrezca lo que más abunda.

La información general sobre carbón mexicano en los aspectos de exploración y explotación es muy dispersa primordialmente en el aspecto de exploración y en su contenido muchas veces contradictoria.

Se supone que las cuencas más conocidas son las de Coahuila, y tampoco han sido exploradas con la amplitud y precisión requeridas, en muchos casos porque no se han hecho obras de infraestructura, pero una de las fallas fundamentales, es la falta de coordinación tanto de recursos humanos como financieros, ya que en esa zona existen: una residencia de estudios carboníferos de CFE; también trabajan en exploración un grupo de CRNNR; por otro lado AHMSA explora por su cuenta, lo mismo el Banco de México, S. A. Aunque cada uno tiene intereses o enfoques distintos, para beneficio de todos ellos y en especial de México, debería optarse por una planeación conjunta, ya que en materia de carbón, en términos generales el interés se enfoca en:

- Existe y es económicamente explotable.

- Existe y no es económicamente explotable.
- No existe.

El trabajo conjunto traería consigo, entre otros, los siguientes beneficios:

- Intercambio de experiencias y de información.
- Aplicación óptima de las inversiones.
- Evitar duplicidad de esfuerzos.
- Actualización nacional en materia de tecnología de exploración y explotación, sin multiplicidad en caso de importarse.
- En su caso, contratación de expertos nacionales y/o extranjeros, cuyo trabajo sirva a todos los intereses involucrados.
- Obtención de un verdadero inventario de carbón mineral a nivel nacional. Así como un registro permanente de exploraciones y explotación que permita tener al día ese aspecto.
- Formular en base a los diversos estudios, recomendaciones en materia de disponibilidad del carbón por zonas geográfica, características, costos, etc.

Una observación respecto a este punto es en el sentido de que: el carbón podría desplazar en las zonas económicas y técnicamente explotables al petróleo y al gas, lo que redundaría por una parte en aliviar la carga a PEMEX, además permitiría la utilización más noble de tales recursos y el aprovechamiento de otra fuente de energía que espera para ser utilizada.

Respecto al carácter aleatorio de la industria carbonífera, referente a la siderúrgica se puede agregar que aún en ese campo de utilización, no satisface plenamente las necesidades, esto trae como consecuencia la importación de: chatarra, desperdicios o desechos de hierro o acero que han costado al País:

1968	18 millones de dólares
1970	35 millones de dólares
1972	23 millones de dólares

Por último, veamos cuáles son los yacimientos carboníferos conocidos, así como el potencial "estimado" de los mismos.

Las cuencas carboníferas conocidas en México:

1. En el Estado de Coahuila: Sabinas, Las Esperanzas, Saltillitos, Lampacitos, Las Adjuntas, Monclova, San Salvador, Piedras Negras.
2. Entre los Estados de Coahuila y Nuevo León: San Patricio.
3. En el Estado de Nuevo León: Colombia.
4. En el Estado de Chihuahua: Ojinaga, Corralitos.
5. En los Estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero: Mixteca.
6. En el Estado de Sonora: San Marcial, Santa Clara.

Antes de dar cifras conviene explicar que las reservas de carbón, se clasifican fundamentalmente en dos tipos:

Las que se designan como "posibles", de acuerdo con la estimación geológica, considerando la profundidad y espesor de los mantos.

Las que se señalan como "probables" y que constituyen los tonelajes que probablemente puedan ser extraídos, considerando determinados límites de profundidad y espesores económicos de los mantos.

Reservas

El Consejo de Recursos Naturales no Renovables, en su boletín 70: "Geología, Reservas y Petrografía de los Carbones Mexicanos para la Siderúrgica", página 16, da los siguientes datos:

Las reservas totales de la región carbonífera de Sabinas al 1o. de enero de 1969, son los siguientes:

1. "Reservas originales" (incluyendo las porciones centrales y más profundas de las cuencas): 10 332.2 millones de toneladas.
 2. "Reservas originales explotables" (localizadas a poca profundidad o en las márgenes de las cuencas): 4 080.9 millones de toneladas.
- De las totales señaladas en 1 y 2 deberán reducirse:

a) Tonelaje total producido: 93 660.397 toneladas.

b) Tonelaje total perdido en la explotación: 108 316 677 ton.

Por lo cual quedan como:

3. Reservas explotables *in situ*: 3 770.5 millones de toneladas. Estas reservas incluyen:
 - c) 242 millones de toneladas de reservas medidas.
 - ch) 615.2 millones de toneladas de reservas probables.
 - d) 2913.4 millones de toneladas de reservas posibles.

4. Teniendo en cuenta varios factores y el hecho de que en las minas mexicanas el carbón que puede recuperarse en la explotación es siempre inferior al 50% de las reservas "medidas", "probables" y "posibles" puede concluirse que las reservas totales "recuperables" alcanzan la cifra de: 1 302.6 millones de toneladas.

El Ing. Antonio García Rojas, en una ponencia que resultó premiada en 1964 en un evento organizado por AMIME, respecto al carbón, expone:

"Prácticamente la totalidad del carbón mineral de la República Mexicana se encuentra dentro de la cuenca carbonífera de Sabinas, en el norte del País, donde se estima que el total, *in situ* es de 12 250 millones de toneladas. El desarrollo de trabajos exploratorios en otras regiones posiblemente carboníferas como: Chihuahua, Sonora y Oaxaca, puede dar lugar a descubrimientos de importancia.

De acuerdo con la experiencia de la explotación anterior al año 1955, se considera que de la cuenca carbonífera de Sabinas podía extraerse un total de 4 138 millones de toneladas, carbón que corresponde aproximadamente al 33.7% del total existente en la región. Este porcentaje de recuperación es bajo, ya que en algunas minas que se explotan actualmente en el País, con el empleo de técnicas de producción más modernas, se está recuperando entre el 80 y el 90% del carbón *in situ*, lo cual significa que el porcentaje de recuperación puede incrementarse considerablemente.

En caso de que en promedio, pueda extraerse el 70% del carbón *in situ*, las cantidades recuperables serán del orden de 8 500 millones de toneladas, o sea aproximadamente el doble de la reserva probada.

Lo anterior muestra la importancia de establecer métodos de recuperación más eficientes: modificando la legislación actual en caso de que esto sea necesario".

El Lic. Jorge Sánchez Nava, Gerente Administrativo y de Estudios Económicos del CRNNR, en un artículo publicado recientemente por la Cámara Minera Mexicana, titulado Las Necesidades Futuras *in situ* que comprenden las cuencas de "Las reservas carboníferas explotables de Carbón Mineral, escribe:

Sabinas, Esperanza y la mitad de Saltillo, excluyendo Río Escondido, alcanzan hoy: 1 781 033 639 toneladas, incluyendo dentro de estas reservas 243 000 000 positivas, 540 259 000 probables y 997 744 639 posibles, pudiendo concluirse que las reservas totales recuperables con los métodos de frente larga y tajo abierto alcanzan la cifra aproximada de 641 073 083 toneladas de carbón.

Los nuevos procesos para la obtención de hierro primario utilizan carbón, sin embargo, las cantidades requeridas por tonelada de mineral están muy por abajo de las necesidades según la técnica del alto

horno; por tanto, es posible pensar que en la futura expansión de la industria siderúrgica se irán disminuyendo constantemente los requerimientos de carbón".

La revista Power realizó una investigación exhaustiva sobre energéticos en el mundo, básicamente: gas natural, petróleo crudo, carbón mineral y uranio.

Los resultados fueron publicados en un reportaje especial que se llama "Fuels"; respecto al carbón mineral mexicano da la cifra de 4 000 millones de toneladas.

Por otra parte es de interés hacer mención a lo publicado por Électricité de France-Sofrelec, en el informe "Plan Nacional de Electrificación en México", resultado de un contrato celebrado entre NAFINSA y SOFRELEC en el año de 1962, considerando el *status* respecto al carbón, siguen siendo válidos los datos once años después.

"El subsuelo mexicano, contiene importantes reservas de carbón cuya explotación, limitada actualmente a la demanda de la industria metalúrgica, permitiría, si se intensificara, aportar una ayuda importante para las necesidades de energía del País".

Reservas

1. Zona de Sabinas (Coahuila).

Las reservas totales, explotables y no explotables con los medios corrientes actuales, alcanzan: 12 500 millones de toneladas, según un informe presentado en 1956 durante el XX Congreso Geológico Internacional de México.

La reserva utilizable estimada, según el mismo informe, en 4 000 millones de toneladas, se reparte de la siguiente manera:

Reservas seguras: 160 millones de toneladas.

Reservas probables: 100 millones de toneladas.

Reservas posibles: 3 740 millones de toneladas.

Haciendo intervenir un factor de recuperación basado en la experiencia adquirida en las minas de Sabinas, la cantidad efectivamente recuperable parece ser: 1 500 millones de toneladas, aproximadamente.

2. Zona de Fuente (De Piedras Negras a Nuevo Laredo).

No se conocen de una manera precisa las reservas de esta zona. De acuerdo con las exploraciones efectuadas en la región de Santo Domingo, de 3 700 ha, las reservas seguras parecen alcanzar: 50 millones de toneladas.

3. Zona de San Marcial y Santa Clara (Sonora).

Se estiman las reservas en 35 millones de toneladas repartidas de la siguiente manera:

Reservas seguras: 4 millones de toneladas.

Reservas probables: 10 millones de toneladas.

Reservas posibles: 21 millones de toneladas.

4. Zona de Ojinaga y Casas Grandes (Chihuahua).

Aun cuando se haya reconocido la presencia de carbón en estos dos sitios de la parte norte del Estado de Chihuahua, no existe ninguna información precisa sobre la naturaleza y la riqueza de las cuencas correspondientes.

5. Zona de La Mixteca (Oaxaca, Puebla y Guerrero).

La superficie de estas cuencas excede

un millón de hectáreas. Se estiman las reservas de una parte de esta zona en: 127 millones de toneladas.

En lo referente a la zona de La Mixteca hay un estudio realizado por el Departamento de Investigaciones Industriales, del Banco de México, S. A., el cual abarca básicamente la cuenca Tezoatlán-Consuelo y la Formación Zorrillo en la zona de Mixtepec.

El reporte en la página 132 dice:

Por medio de las obras efectuadas, durante el estudio de ambas zonas se ha obtenido el conocimiento necesario para determinar la existencia de: 126 378 624 toneladas de carbón clasificados en:

Reservas positivas: 13 115 456 toneladas.

Reservas probables: 52-718-048 toneladas.

Reservas posibles: 60 545 120 toneladas.

Agregan lo siguiente:

"Se han cubicado 13 115 456 ton de mineral positivo, de las cuales 10 800 000 toneladas son de carbones que previo lavado es posible utilizar para la generación de energía eléctrica. Se aconseja que el presente estudio sirva de iniciación, de una investigación más amplia, tanto desde el punto de vista geológico-minero, como del de utilización industrial.

El perfil de México en 1980, tomo 2, en el artículo Los Recursos Energéticos escrito por Arturo del Castillo, dice:

d) La relación de reservas a producción de carbón, es de gran significación: en 1960, el coeficiente era de 153 años; en 1967 descendió a 125.7 años; en 1970, de seguir las tendencias actuales, será de 118 años; en 1975 de 106, y en 1980 de 96 años.

Estos coeficientes son conservadores, pues sólo se refieren a reservas cubicadas y se supone en los medios especializados que las reservas comprobadas se podrán

ampliar substancialmente en el futuro, dados los estudios geológicos existentes.

Por su parte Altos Hornos de México sigue un régimen de exploración de carbón, congruente con las disponibilidades de mineral hierro y las cifras que da son de utilidad para sus propósitos específicos.

Dice el Ing. Padilla Segura, en una conferencia dictada en febrero de 1972 ante el XII Consejo Directivo del CIME:

"El término reserva minera es dinámico ya que disminuye con la explotación y aumenta con la exploración".

Por último, es importante resaltar la información que da Diseños y Construcciones, S. A., respecto a reservas en la zona norte-noreste, ya que es el resultado de 15 años de estudios:

Cuencá	Superficie (ha)	Posibles
Sabinas	104 500	2 457 000 000
Las Esperanzas	18 100	444 600 000
Saltillito-Lampacitos	101 100	2 457 000 000
San Patricio	179 300	3 369 600 000
Las Adjuntas	136 300	2 620 800 000
Moncova	35 600	837 700 000
San Salvador	3 600	84 200 000
Totales:	578 500	12 270 900 000

Se tienen reportes de la C.F.E. de algunas zonas de Coahuila como es el fundo Sto. Domingo, otros estudios del CRNNR, sobre la cuenca Las Adjuntas, pero en términos generales forman parte de estudios aislados, faltos de coordinación entre sí, de zonas mineras del Estado de Coahuila.

CONCLUSIONES

Analizando toda la información disponible respecto al carbón, se puede concluir lo siguiente:

1. Las empresas que actualmente explotan el carbón, tienen en producción, en conjunto, alrededor de 40 000 ha, lo cual representa una fracción muy pequeña de las áreas que la geología, los afloramientos

y diversos estudios, señalan como cuencas carboníferas importantes.

2. Los datos existentes de tipo cualitativo y cuantitativo, muestran que hay en la República Mexicana, carbón coquizable suficiente para procesar todo el mineral de hierro económicamente explotable.

3. Asimismo los estudios han mostrado la existencia de grandes yacimientos de carbón no coquizable, cuya utilización como energético urge impulsar.

4. Tres grandes empresas, controlan la producción de carbón mineral que se usa, primordialmente como reductor y en bastante menor escala como energético: Altos Hornos de México, Fundidora de Monterrey y Asarco Mexicana.

El resto de las empresas carboníferas en operación son muy pequeñas, muchas de ellas subsisten gracias al auxilio de la Comisión de Fomento Minero. Obviamente son incapaces de impulsar en mayor escala los trabajos de exploración y explotación.

5. Sería muy útil, revisar los aspectos legales, en materia de concesiones, ya que ésta podría ser una de las causas del estado actual de la minería del carbón en México.

6. Si la minería del carbón alcanzara la posición que debe tener por sí misma, podría ser para el País un factor económico de suma importancia.

7. La utilización de los recursos energéticos de México, debe hacerse de una manera racional lo cual involucra entre otras cosas, reducir al mínimo los cargos por transporte, es decir, tratar de emplear los energéticos, según su distribución por zonas geográficas.

8. Definitivamente es el carbón el que puede aligerar la carga a PEMEX, vale la pena intentarlo de una manera coordinada. El carbón espera ser utilizado y los Estados de Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Coahuila y Oaxaca, se beneficiarán

mucho si se hace del carbón mineral, la gran industria que puede ser.

B) *Potencial hidroeléctrico*

B.1 *Potencial hidroeléctrico mundial*

De acuerdo con la publicación, *Energy Resources for Power Production*, de M. K. Hubbert del United States Geological Survey, el potencial hidroeléctrico del mundo es del orden de:

3 terawatts.

Valor que es del mismo orden de magnitud que la capacidad eléctrica instalada en el mundo (1969). Sin embargo de ese potencial tan sólo se ha utilizado hasta el presente el 8.5%. La mayor parte ha sido desarrollado en América del Norte, Europa Occidental y Japón.

Los dos continentes con mayor potencial son:

Africa 0.780 terawatts
América del Sur .. 0.577 terawatts

Los EE.UU. han aprovechado exhaustivamente esta fuente de energía que a todas luces es la mejor entre las convencionales, entre otras muchas de sus virtudes, su carácter renovable la hace muy atractiva. Es de interés mencionar la planta Grand Coulee en el Estado de Washington, actualmente en construcción, que con sus casi 10 000 Mw de capacidad instalada, será sin duda la mayor hidroeléctrica del mundo.

B.2 *Potencial hidroeléctrico de México*

Se ha mencionado que las posibilidades hidroeléctricas de México son del orden de 56 000 Mw (megawatts) de potencia continua, de los cuales son económicamente explotables en el intervalo de 14 000 - 21 000 Mw. Sin embargo, considerando el carácter incompleto de los estudios al respecto, es de esperar cambien

estos valores. Es importante mencionar que la Comisión Federal de Electricidad y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos trabajan de manera conjunta en el Plan Nacional Hidráulico, el cual tiene dentro de los puntos de mayor interés, la determinación del potencial hidroeléctrico mexicano.

Hasta 1971 el sector eléctrico de servicio público, tenía una capacidad instalada, de origen hidroeléctrico de 3 227 Mw, representando el 49.66% de la total. Siendo conservadores, vamos a considerar el límite inferior del intervalo económicamente explotable, del potencial hidroeléctrico, es decir, 14 000 Mw, de donde los 3 227 Mw en operación, representarán el 23.07%.

En el programa de obras del sector eléctrico, fechado el 29 de septiembre de 1972 se mencionan los siguientes desarrollos hidroeléctricos:

	<i>Mw</i>
1. Aguamilpa	300
2. Chicoasén	1 100
3. Caracol	300
4. El Humaya	90
5. Peñitas	400
6. Plutarco Elías Calles	45
7. S. J. Tetelcingo	300
8. La Angostura	540
9. El Infiernillo	340
(5o. y 6o. unidades)	
10. La Villita	300
Total:	3 715 Mw

Según las fechas programadas, esto corresponde hasta el 30 de julio de 1980, sumada esa capacidad a la hidroeléctrica instalada, da un total de 6 942 Mw, que es del mismo orden de magnitud de la capacidad actual instalada.

Sin embargo algunos de los desarrollos hidroeléctricos incluidos, todavía están sujetos a que las condiciones topográficas, geológicas así como las indemnizaciones involucradas, las hagan factibles técnica y económicamente.

Asimismo es necesario esperar los resultados de los estudios del "Plan Nacional Hidráulico" que se mencionaba antes, ya que en términos generales cuanto se diga en cuestión de potencial hidroeléctrico, son conjeturas.

Con los datos que ya se tienen, se pueden dar cifras "aisladas" de algunas cuencas, como es el caso de:

	<i>Mw</i>
1. Potencialidad del Río Grijalva	1 920
2. Potencialidad del Río Balsas	2 767
3. Potencialidad de los Ríos Tecolutla, Actopan, de la Antigua y Blanco	931
4. Potencialidad del Río Santiago (sin incluir P.H. Santa Rosa)	631
5. Potencialidad de los Ríos Yaqui y Fuerte (sin incluir a la P.H. El Novillo)	752
6. Potencialidad del Río Usumacinta	4 085

Pero dar un valor y decir, esto es con todo lo que cuenta el País, es falso y aventurado.

Es necesario insistir que para actuar dentro de los lineamientos de una Política Energética Coherente, es necesario aprovechar todos los recursos existentes por zonas geográficas, condicionado obviamente a los aspectos técnicos y económicos.

Con frecuencia se escucha que tal o cual fuente de energía es importante, pero que está lejos de los centros de consumo, sin embargo no hay que estar tan seguro de que eso representa una condición que impida utilizarla.

Pensémoslo desde el siguiente punto de vista:

La Nación enfrenta un grave problema de centralización, el edificar centros industriales y urbanos cerca de las fuentes de energía, traería consigo un sinnúmero

de beneficios tales como, la apertura de nuevas fuentes de trabajo, energía barata muy atractiva, para industrias tales como la electroquímica, muchas obras de infraestructura que abren nuevos mercados y mejores perspectivas para regiones antes marginadas. Y si dicha fuente de energía es: hidroeléctrica, carbón, geotermia, etc., también estará involucrado un cuantioso ahorro de petróleo y gas.

Para poder optar por alternativas como la antes propuesta, hay que conocer muy bien los recursos con que se cuenta en todos los rincones del País, tanto en el orden cualitativo como cuantitativo. Otra razón por la cual, puede resultar atractivo el uso de fuentes de energía, alejadas de los centros de consumo, es la transmisión a muy altos voltajes.

Pasando a otro aspecto de los aprovechamientos hidroeléctricos, es necesario hacer mención de las plantas de rebombeo, las cuales como es de todos conocido se utilizan para suministrar la energía de picos; en el intervalo comprendido entre pico y pico, es bombeada el agua hasta una obra de toma, donde es almacenada hasta la llegada del siguiente pico; este tipo de plantas estrá normalmente asociado a otro convencional que suministra la energía, para impulsar las bombas.

Esta clase de instalaciones se ha desarrollado en muchos países con grandes ventajas, básicamente ha solucionado el suministro de energía de picos, además de diversos beneficios de otra índole. Aunque es posible que el sector eléctrico de servicio público esté ya estudiando la posibilidad y conveniencia de estas plantas,⁹ es importante mencionarlas debido al auge que han alcanzado.

En los EE.UU. el panorama que presentan las plantas de rebombeo es el siguiente:

<i>Año</i>	<i>Capacidad instalada (Mw)</i>
1970	4 000

1980	27 000
1990	71 000

C) *Potencial geotérmico*

C.1 *Potencial geotérmico mundial*

Los países que cuentan con este recurso energético son: El Salvador, Francia, Islandia, Italia, Japón, China, Turquía, Chile, EE.UU., Rusia, Etiopía, Guatemala, Hungría, Israel, Kenia, Indonesia, Jordania, Nicaragua, Filipinas y México.

La capacidad geotermoeléctrica instalada en el mundo, es cercana a los 1 000 Mw, que representan de acuerdo a las estimaciones mundiales del potencial geotérmico el 16.7%. Sin embargo es probable que los 60 000 Mw estimados se vean incrementados a medida que los estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos se vayan afinando. De todos modos el contar con esa fuente de energía por un período superior a los 50 años es una gran ayuda a la crisis energética que encara el mundo.

Los estadounidenses le han concedido a este energético tal importancia, que en el presupuesto de Investigación y Desarrollo de Energéticos, le fueron asignados 885 millones de dólares. Además se dejaron alrededor de 550 000 ha de terrenos federales, abiertos a la exploración, desarrollo y aprovechamiento del vapor endógeno. Prevén para 1985 una capacidad geotermoeléctrica de 31 434 Mw.

En una conferencia mundial organizada en Pisa, Italia, se presentaron más de 200 informes de estudios geotérmicos, desarrollados en diversos países; destacaba por su importancia uno de los trabajos, realizado por expertos soviéticos, en el que se afirma que el potencial geotérmico de Rusia, es mayor que todas sus fuentes de energía combinadas.

Por último es de interés mencionar que se están llevando a cabo estudios muy serios, encaminados al desarrollo de la

geotermia artificial. Se piensa para ello en explosiones nucleares subterráneas, teniendo así acceso a las zonas calientes de la Tierra; inyectar agua fría y extraer vapor. De realizarse esto, se abriría un camino muy importante para el abastecimiento energético de la humanidad.

C.2 *Potencial geotérmico mexicano*

Nuestro País es eminentemente volcánico, cuenta con más de un centenar de zonas distribuidas principalmente en su parte central y a lo largo de la costa occidental, caracterizadas por la asociación de fenómenos volcánicos y manifestaciones geotérmicas en zonas de fracturamiento. Los estados de la República donde se localizan las áreas conocidas, más importantes por sus manifestaciones termales son: Hidalgo, Baja California, Jalisco, Michoacán y Chiapas.

A escala piloto se instaló la primera geotermoeléctrica que fue Pathé, en el Estado de Hidalgo, con una capacidad instalada de 3 500 kw, los resultados han sido satisfactorios y por la magnitud del campo es muy probable se realicen ampliaciones importantes.

Hasta el presente los mayores beneficios que ha rendido esta instalación son el cúmulo de experiencias aprovechadas ya, en el campo geotérmico de Cerro Prieto, B. C.

La entrada en operación comercial de la planta de Cerro Prieto con una capacidad inicial de 37.5 Mw y a punto de entrar otra, haciendo un total de 75 Mw es un suceso importante para México, en un año de operación, representará un ahorro de combustible de 800 000 barriles. Asimismo al irse adicionando unidades a esa planta, se irán incrementando tales ahorros. Hasta 1980 se tiene programada, para Cerro Prieto, una capacidad instalada de 360 Mw.

Evaluación del potencial.

Se ha mencionado que el potencial del campo geotérmico de Cerro Prieto es del

orden de los 10 000 Mw, más otro tanto, correspondiente a campos de la faja volcánica.

Sin embargo esos valores hasta el momento son simples estimaciones, por tanto estarán en entredicho, mientras no sean confirmadas por estudios más completos; por ahora, es decir, negar toda posibilidad a esta fuente de energía o afirmar su importancia, es emitir juicios, sin elementos. Lo más prudente es ir desarrollando la geotermia en forma paralela a los estudios, cuyos resultados serán los jueces más imparciales al respecto. Actualmente la fotografía con satélites, es un gran auxiliar para delimitar zonas calientes que pudieran corresponder a campos geotérmicos.

Costos.

Para terminar con lo relativo a geotermia, daremos los costos por kw instalado y por kw/h generado, comparando cuatro energéticos. (Datos publicados por *Electrical World*, mayo 15, 1973.)

En los EE.UU. (1971)

Costos	Geotermia	Carbón	Hidro-eléctrica	Nuclear
Inversión				
\$/kw	1 567.50	2 137.50	3 125.00	3 206.2
Generación				
\$/kw/h	5.08	7.40	5.68	8.0

Precios en pesos mexicanos.

CH) *Minerales para la obtención de combustibles nucleares*

En virtud de que los reactores de potencia que actualmente se utilizan en la generación de energía eléctrica, consumen combustibles fabricados a partir de uranio, para fines de este trabajo nos ocuparemos sólo de ese mineral.

CH.1 *Uranio en el mundo*

La Comisión de Energía Atómica de los EE.UU. da la siguiente información al respecto:

Las reservas de óxido de uranio: U_3O_8 (yellowcake) que constituye la materia prima en la fabricación de combustible nuclear, a un precio inferior a \$ 275/kg son:

En los países no comunistas: 980 000 toneladas cortas; de éstas, 843 000 o sea el 86% corresponden a cuatro países: EE.UU., Canadá, Francia y Africa del Sur. El 14% restante, está repartido en 13 países.

La fabricación de combustibles de uranio enriquecido, es un monopolio de los EE.UU., motivado por los altos costos de capital involucrados.

Sin embargo los europeos, conscientes de esa desventaja, decidieron constituir URENCO, compañía de nacionalidad inglesa-alemana-holandesa, y ya empiezan a trabajar a escala piloto en los tres países.

Por otra parte los altos costos de las plantas nucleoelectricas, la gran ineficiencia en el consumo del combustible, así como la escasez relativa de "yellowcake" de precio inferior a \$ 275/kg, hacen poco atractiva la generación por medios nucleares, en especial para aquellos países que tienen la fortuna de tener combustibles fósiles, por lo menos suficientes, hasta que los reactores de cría estén a disponibilidad comercial.

En virtud de lo expuesto, algunas naciones se han inclinado por los reactores de agua pesada, los cuales utilizan "uranio natural", con un proceso de fabricación de combustible más sencillo y barato que los demás. Sin embargo el agua pesada cuesta a razón de \$ 783 750.00 ton, y en una planta nucleoelectrica con reactor de agua pesada, se requieren aproximadamente: 1 ton/Mw. Por otra parte hay que tomar en cuenta que los costos involucrados en una instalación para producir agua pesada son muy grandes, la cual para resultar económica, ha de ser de gran producción y el mercado mundial de agua pesada es muy incierto, ya que está supeditado al desarrollo mundial de este tipo de reactores.

De hecho los canadienses con sus plantas de producción de D_2O , junto con la de Savannah River de los americanos, tienen más que cubierto el mercado mundial en la actualidad.

Sin embargo, valdría la pena estudiar el proyecto de la central nucleoelectrica de Atucha, en Argentina, ya que siendo un país latinoamericano, puede servir de base para establecer una comparación con el caso de México. Un país en vías de desarrollo, que cuente con combustibles fósiles, geotermia, caídas de agua por aprovechar, debiera olvidarse de la energía nuclear y optar por preparar técnicos para el futuro, en todo lo referente a tecnología de exploración de uranio, entrenarse en reactores, combustibles, etc.; en una palabra, contar primero con una infraestructura que permita abordar y comprender profundamente la tecnología nuclear, la cual hasta el presente se prevé tendrá un gran desarrollo y quizá ocupará en el siglo XXI, el papel, que en el siglo que vivimos, ocupan los energéticos que llamamos convencionales.

No son previsibles cambios dramáticos que alteren o modifiquen las tecnologías en desarrollo, pero hay que estar conscientes que pueden ocurrir.

CH.2 Uranio en México

En virtud de que México, no tiene la infraestructura que se mencionaba antes, incluido en esto la existencia de un inventario de minerales de uranio, no tiene objeto dar cifras, las cuales resultaría ocioso mencionar.

Sin embargo, se tiene ya el compromiso de una nucleoelectrica, compuesta en la parte nuclear, de un reactor de agua hirviente, que consume uranio enriquecido. La primera carga de combustible se va a comprar totalmente, se dice que a partir de la primera recarga, el "yellowcake" va a ser suministrado por nuestro país, a tra-

vés del Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN).

Aunque esto fuese una realidad, no podremos enriquecer los minerales y fabricar el combustible, no estamos en posibilidad de ello, ni técnicamente ni desde el punto de vista financiero.

Lo expuesto, se traduce en una absoluta y total dependencia exterior, la cual a todas luces, es peligrosa, aventurada y muy costosa.

E) Otras fuentes de energía

En este apartado se mencionarán: la energía solar, eólica y la de las mareas.

Energía solar.

Esta es "la mayor fuente de energía", la cual con todo y los grandes avances de la ciencia y la tecnología, la humanidad todavía no es capaz de aprovechar sustancialmente.

Se asocia a la radiación solar un flujo de energía de 178 000 terawatts continuos, de esto es absorbido por fotosíntesis, una pequeña porción, del orden de 40 terawatts.

Menciona M. K. Hubbert del Geological Survey, que una fracción de minuto de la potencia del Sol almacenada durante el pasado geológico es la fuente de energía de los combustibles fósiles; carbón y petróleo. El aprovechamiento de este energético es una de las grandes esperanzas de la humanidad, ya que la llegada del siglo XXI, contemplará el pico de producción de petróleo y tal vez del carbón.

Energía eólica.

El uso de la energía derivada de los vientos data de muchos siglos atrás, sin embargo, ha revivido el interés en esta fuente de energía por muchas razones, entre las cuales se pueden mencionar:

- 1o. Crisis energética mundial.
- 2o. Avances tecnológicos en aerodinámica.
- 3o. Se estima que los vientos que soplan en un año sobre la superficie terrestre representan 13 billones de kw/h.
(A. Parker-World Energy Resources and Thier Utilization. The Institution of Mechanical Engineers).
- 4o. Infinidad de lugares apartados, que no cuentan con ninguna otra fuente de energía.

Energía eólica en México.

Existen en la República Mexicana muchas zonas donde es factible utilizar la energía eólica, entre las cuales resaltan: La Ventosa, Oax.; Bahía de Kino, Son.; Chihuahua, Chih.; Pachuca, Hgo.; Juchitán, Oax.; Topolobampo, Sin.; Piedras Negras, Coah., etc.

La utilización de aerogeneradores en la generación de energía eléctrica no va a resolver los problemas eléctricos del País; sin embargo pueden ser un auxiliar muy valioso, considerando el número tan grande de pequeñas comunidades aisladas que no cuentan con ese servicio.

El constante progreso de México hará que algún día llegue la energía eléctrica a todos esos sitios, en el presente resulta totalmente incostrable tender líneas de transmisión para el suministro de cargas tan pequeñas (7 500/kw).

Si se entiende el uso de aerogeneradores, como una etapa anterior a la electrificación formal, la cual reducirá las inversiones improductivas del sector eléctrico, entonces estarán desempeñando un papel de importancia. Su uso en mayor escala será posible en pocos lugares, en los cuales la velocidad media anual del viento lo permita, así como el número de horas que sople por día.

Todo lo mencionado forma parte de

una serie de estudios técnico-económicos que se realizan actualmente, y que de obtenerse buenos resultados darán la pauta para elaborar un "Programa Nacional de Electrificación Rural con Eoelectricidad".

Energía maremotriz.

Se estima que las mareas representan una energía de 3×10^{12} watts continuos. Sin embargo las zonas específicas de las costas, en las cuales la diferencia entre pleamar y bajamar es suficiente para ser aprovechadas por turbogeneradores especiales, son contadas; no obstante, el mar es una enorme fuente de energía y de no poder aprovecharse en gran escala olas y mareas, el hidrógeno contenido en ellas representa una reserva energética fabulosa.

CONSIDERACIONES GENERALES

Petróleo

El consumo actual de energéticos primarios en el País, está abastecido principalmente, por hidrocarburos que proporcionan un 88.7% del total de los requerimientos nacionales.

En la actualidad se consumen aproximadamente 440 000 millones de barriles de petróleo anuales; el incremento de la demanda es de aproximadamente 6.6% anual, por lo que para el año 2000, siguiendo esta tendencia se habrá consumido un total acumulado del orden de 30 000 millones de barriles, de los cuales corresponden al sector eléctrico, únicamente el 10%, o sean 3 000 millones de barriles.

Estos volúmenes de hidrocarburos requeridos por el País en los próximos 20 años, de acuerdo con el crecimiento actual, tenderán a agotar estos recursos como sucederá tal vez en gran parte del mundo, lo que obliga a México a proyectar un desarrollo energético aprovechando

otros recursos tales como el uranio, carbón, energía geotérmica y en un futuro la energía solar, y por supuesto la energía hidráulica.

Para el aprovechamiento de recursos energéticos diferentes a los hidrocarburos, es necesario cambiar la estructura actual de consumo del sector energético, en virtud de que los energéticos primarios, hidráulica, geotermia, uranio y carbón sólo pueden ser distribuidos en gran escala transformados en electricidad. Por lo que deberá proyectarse en el sector eléctrico, que ahora representa un 6.9% en el consumo del sector energético, un aumento considerable que llevaría, con grandes esfuerzos, a este sector a representar en el año 2000 de un 12 a 14% del sector, con lo cual se liberaría el sector eléctrico en gran parte de la dependencia de los hidrocarburos.

Energía

La energía hidráulica disponible total, al realizar todas las obras factibles requeridas, es de 65 000 millones de kw/h anuales, y el consumo de electricidad total requerido en el País será para el año 2000 de 400 000 millones de kw/h anuales, por lo que la energía hidráulica representará en el sector eléctrico el 20% y sólo el 4% en el sector energético. Siendo muy importante el total aprovechamiento de la energía hidráulica por ser éstos recursos renovables, pero que resolverán el problema en pequeña proporción.

Carbón

El carbón tiene un futuro de gran importancia para México, tanto para la industria siderúrgica como para la generación de electricidad.

Las reservas medidas *in situ* superan los mil millones de toneladas y las reservas potenciales se estiman actualmente según

algunos expertos en más de 6 000 millones de toneladas.

Uranio

No se cuenta con suficientes datos para estimar con niveles de confianza razonables el potencial uranífero del País. Lo único cierto es que los limitados trabajos de prospección y explotación uranífera han conducido a resultados halagadores.

Las 6 000 toneladas de uranio identificadas positivamente en Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Durango, y las 2 000 toneladas adicionales que se han inferido, darán suficiente uranio para la operación de la primera planta nucleoelectrónica de 1 300 Mw durante 30 años, pero son insignificantes respecto a las necesidades energéticas esperadas.

Por ejemplo, sólo la operación de 15 000 Mw nucleoelectrónicos durante 30 años, requiere una cantidad del orden de 80 000 toneladas de óxido de uranio.

Ahora bien, los resultados obtenidos por el I.N.E.N., la opinión de los expertos nacionales y extranjeros y las propias características metalogenéticas del uranio, hacen pensar que México dispone de suficientes reservas de este energético para alimentar un programa nucleoelectrónico considerable y además para exportar.

CONCLUSIONES

Después de planear la utilización de todos los recursos hidráulicos, el sector energético debe avocarse a la planeación del aprovechamiento del carbón y el uranio, considerando factores tales como, la dependencia tecnológica de México a otros países, los grandes esfuerzos financieros, la realización de estos proyectos con la intervención de la industria nacional.

El aprovechamiento del carbón y del uranio en México será importante siempre y cuando se dicten primeramente po-

líticas de racionalización en el sector energético, ya que estos recursos modificarán la estructura actual en cuanto influyen en el sector eléctrico que como se ha visto, no es el más importante visto globalmente.

La estructura actual del consumo de energéticos debe racionalizarse prioritariamente haciendo modificaciones sustanciales en el sector de transporte e industria, pues mediante medidas de sentido común es posible ahorrar de un 10 a un 15% del consumo nacional de hidrocarburos, lo que es igual al total de este energético consumido actualmente por el sector eléctrico.

Los energéticos: hidrocarburos, carbón, uranio y en ciertos casos electricidad, son fuentes de divisas. De conformidad con las prioridades para satisfacción de las demandas nacionales sólo es recomendable destinar a la exportación los hidrocarburos que puedan ahorrarse mediante racionalización y sustitución.

SECTOR ENERGÉTICO

1o. Energéticos primarios (% en k cal)

Hidrocarburos	88.7%
Hidroelectricidad y geotermia	3.2
Carbón mineral y coque	8.1
Energía eléctrica importada	(menos 0.5%)
	100.0%

2o. Energía disponible para ser suministrada a los usuarios (% k cal)

Pemex	82.6%
Sector eléctrico	6.9
Industria del carbón	10.5
	100.0%

3o. Estructura aproximada del consumo energético (% en k cal)

Servicios:	Hidrocarburos	Carbón	Energía eléctrica	Total consumo
Industria	40.4%	10.5%	3.8%	54.7%
Transporte	29.9		0.1	30.0
Doméstico	12.3		1.1	13.4
Comercial	?		1.0	1.0
Otros	?		0.9	0.9
	82.6%	10.5%	6.9%	100.0%

4o. Estructura aproximada del consumo de energéticos por sector (considerando el consumo de energía eléctrica como sector)

Servicios		
Industria	50.9%	{ Hidroelectricidad 3% (40% del sector eléctrico) Termoelectricidad 4% (60% del sector eléctrico)
Transporte	29.9	
Doméstico	12.3	
Sector eléctrico	6.9	
	100.0%	