

CAPÍTULO IV

EL FACTOR TECNOLÓGICO

1. La cooperación internacional	99
2. La transferencia de tecnología	103

CAPÍTULO IV

EL FACTOR TECNOLÓGICO

1. LA COOPERACIÓN INTEREMPRESARIAL

La importancia y alcance de las actividades que las empresas petroleras estatales podían realizar dependían, lógicamente, de sus reservas de crudo, pero también y en forma significativa, de su nivel tecnológico.

Las primeras muestras de cooperación entre compañías extranjeras y países productores —en los que las empresas locales aún estaban en gestación— se han visto en los contratos que italianos y franceses ofrecieron con mayores ventajas para los anfitriones bajo las formas de *joint ventures* o prestación de servicios, luego imitados por organizaciones de Japón, la entonces República Federal Alemana, Austria y España, entre otros.

Empero, la asistencia entre compañías petroleras estatales de países productores inició casi a un tiempo con los acuerdos del mismo orden con naciones industrializadas.

Desde entonces los acuerdos de cooperación entre empresas estatales se han ubicado dentro de las siguientes categorías: 1) entre empresas petroleras locales de países productores; 2) entre compañías nacionales de Estados productores y naciones industrializadas; y, 3) entre compañías estatales y otros países subdesarrollados o, en su tiempo, con agencias de naciones socialistas.

El establecimiento de la cooperación directa entre empresas estatales de países productores era inaplazable, pues los más de ellos contaban con situaciones económicas similares. Como ejemplos de asociaciones para la asistencia mutua en estas naciones contamos con ARPEL en América Latina, la OPAEP y el Comité para el Petróleo de los Países del Sudeste Asiático (ASCOPE).

Los primeros frutos, y tal vez los mayores hasta el momento, fueron los derivados de la cooperación entre los países integrantes de la OPEP.

El primer encuentro de representantes de la organización con esta finalidad se efectuó en Caracas, en 1966. Entonces se decidió establecer un comité para estudiar las posibilidades de asistencia dentro de las empresas petroleras estatales. Este organismo se reunió hasta 1970, fijando los propósitos concernientes a la coordinación de las políticas entre empresas, el intercambio de información técnica y la eliminación de la competencia de los productores.

Luego del incremento de las posibilidades financieras derivadas del *shock* de 1973, se estrechó la cooperación entre las empresas petroleras de la comunidad de países de la OPEP.

En agosto de 1974 se dieron cita en Londres los ministros de la organización para asentar las bases principales de la asistencia recíproca, que consistieron en:

- 1) Intercambiar información relativa a las tendencias de los precios e índices de producción.
- 2) Intercambiar informes relevantes sobre nuevos acuerdos concluidos en el periodo anterior.
- 3) Coordinar los sistemas de mercadeo y las condiciones contractuales de los representantes de empresas estatales.

Otra muestra orgullosa de esta clase de cooperación entre empresas petroleras de países exportadores e importadores de América Latina es la Asistencia Recíproca Petrolera Estatal Latinoamericana (ARPEL), luego complementada con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

ARPEL —en donde se realiza el intercambio entre los entes estatales petroleros—, creada en 1964, bajo influencia de la OPEP y a iniciativa de Venezuela, contó de inmediato con la participación de Uruguay, Ecuador, Chile, Colombia, Brasil, Perú, Argentina y Bolivia. Otros países latinoamericanos menos cercanos enviaron observadores a la apertura de reuniones. El 2 de noviembre de 1973, las anteriores naciones, junto con representantes de Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana y Trinidad y Tobago dieron vida a la OLADE, un organismo no sólo de asistencia, sino con la misma jerarquía y objetivos de la OPEP —en ella participan los gobiernos— a nivel latinoamericano.¹

¹ Los estatutos y otras disposiciones para la organización de la OLADE pueden consultarse en Arauz, *op. cit.*, pp. 189-239.

Dos líneas fundamentales y paralelas de acción son las metas de ARPEL: aumentar el intercambio de aquellos recursos, predominantemente energéticos, directa o indirectamente dentro de la esfera soberana estatal y elevar el nivel tecnológico de las empresas integrantes.

Desde 1966, varios contratos y acuerdos se han cerrado entre los miembros de la organización, como por ejemplo, para la compraventa de petróleo, investigación, establecimiento de complejos petroquímicos, cooperación técnica para el desarrollo de fuentes alternativas de hidrocarburos —v. gr. aceite de esquistos bituminosos—, y la capacitación de personal.

Las empresas petroleras estatales de los integrantes de ARPEL se han modernizado paulatinamente y modificado la tendencia general, así como las características específicas de sus relaciones con la industria petrolera internacional, la cual ha experimentado mayores cambios en su papel dominante ajustándose en la medida de lo posible con la política mundial de energía.

El crecimiento de las empresas petroleras es un reflejo característico de las dificultades del desarrollo tecnológico. Las deficiencias omnipresentes convencieron a las naciones latinoamericanas de la necesidad de crear su propio soporte científico y técnico, a la par de una selección de criterios con el fin de sistematizar la experiencia adquirida —en el interior o desde el exterior— y establecer medidas protectoras de los recursos.

Dentro del mismo entramado tecnológico, comercial y político, ARPEL ha funcionado como medio para cristalizar las ideas y aspiraciones cooperativas interempresariales estatales. Su objetivo, formulado en concordancia con las instituciones legales y constitutivas de sus integrantes, ha sido definido como una asistencia mutua con el propósito de considerar y recomendar a los miembros acuerdos que logren promover sus intereses comunes, contemplando, asimismo, la integración económica y tecnológica de Latinoamérica. Clara expresión de todo ello lo es su lema: Hacia la integración de las compañías petroleras de los gobiernos latinoamericanos.

Los fines específicos y constitutivos de la política general de ARPEL, son:

- 1) Promover el intercambio de información y asistencia técnica entre sus miembros.
- 2) Realizar las gestiones necesarias para promover:

- a) La cooperación con organismos internacionales;
- b) La expansión de la industria petrolera en Latinoamérica;
- c) La expansión de la industria latinoamericana produciendo equipo para la industria del crudo;
- d) Conservar las fuentes del hidrocarburo;
- e) Coordinar programas de desarrollo entre sus integrantes;
- f) Desarrollar transacciones comerciales entre los miembros.

3) Promover y organizar congresos, conferencias y reuniones técnicas y científicas para considerar y discutir materias de interés común.²

Las reuniones anuales de expertos en ARPEL han constituido un mecanismo eficaz para la transferencia de tecnología. Los participantes son especialistas de cada una de las empresas estatales de la organización, y se dan cita en las mismas reuniones observadores de organismos internacionales con las que se han firmado convenios de intercambio informativo.

La continuidad de estos encuentros ha dado buenos resultados. El alto nivel de conocimientos y experiencias técnicas y científicas presentadas se han introducido en variadas operaciones y contratos de transferencia tecnológica, desde la aplicación y adaptación de procesos desarrollados en empresas y universidades de países industrializados, hasta el desarrollo de tecnología local y capacitación de personal nativo.³

La cooperación entre empresas petroleras de países subdesarrollados y firmas extranjeras, aún cuando sean de propiedad estatal, privada o mixta, ha asumido una forma eminentemente dinámica, sobre todo en los últimos cuarenta años, particularmente en los terrenos de la explotación y el tratamiento de los depósitos naturales de crudo.

Al serles concedida la jurisdicción territorial a las empresas estatales de países en vías de desarrollo han buscado realizar toda la gama de operaciones por sí mismas, en la medida de sus posibilidades. Pero también han sido facultadas para solicitar la asistencia de operadores foráneos cuando su ayuda se considera indispensable para lograr un mejor desempeño industrial. La experiencia ha hecho de esta cooperación extranjera más una regla que una excepción. El medio más usual

² El texto íntegro de los estatutos puede consultarse igualmente en Arauz, *ibid.*, pp. 243-248.

³ Villagrán Kramer, *op. cit.*, p. 178; Nezam-Mafi, *op. cit.*, pp. 61-69, 72; Baum, *op. cit.*, p. XVIII; C. Vanrell Pastor, "Latin American State Petroleum Enterprises and their Association in ARPEL", *State Petroleum Enterprises in Developing Countries*, *cit.*, pp. 82-87.

para regular este tipo de ayuda ha sido la concesión en su nueva modalidad.

Es evidente en la actualidad que solicitar los servicios de una compañía petrolera foránea no es malo *per se*, ni derogatorio del principio de soberanía sobre los recursos naturales. Sólo un nacionalismo mal entendido —que no es sino otro nombre de la xenofobia— considera inaceptable la presencia extranjera en territorio nacional bajo cualquier concepto. La cooperación puede ser, y lo ha sido mayoritariamente, positiva y benéfica a todas las partes involucradas.⁴

2. LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

La ciencia y la tecnología del petróleo constituyen una de las actividades más complejas que el ingenio del ser humano ha desarrollado en la última centuria. Científicamente es, sin lugar a dudas, eminentemente interdisciplinaria, pues en su total industrialización intervienen todas las ciencias básicas: matemáticas, física, química y biología; la lista de disciplinas aplicadas que aportan su contribución es larga de enumerar, pero abarca desde la geofísica y la geología hasta la electrónica, economía, sociología y administración. Como tecnología está compuesta de la variedad de procesos que constituyen las cinco principales fases en que se suele subdividir la producción y transformación industrial del hidrocarburo: exploración, explotación, refinación, petroquímica, investigación y desarrollo. Es posible que en cuanto a su complejidad y pluralidad sólo compita con ella la ciencia y tecnología espacial.⁵ Por lo anterior es fácilmente comprensible aquella metáfora que dice que el petróleo se encuentra en la mente de los hombres.⁶

Según la teoría más aceptada, el crudo de petróleo es un residuo de desechos orgánicos, principalmente de plancton marino microscópico y plantas terrestres, acumulados en el fondo de los océanos, lagos y zonas costeras. En el decurso de millones de años, esta sustancia orgánica, rica en átomos de carbono e hidrógeno, fue acumulándose en capas sucesivas de sedimentos; la presión y el calor subterráneos “cocinaron”

4 Zakariya, *op. cit.*, pp. 43-45.

5 Leopoldo García-Colín Scherer, “La ciencia y la tecnología del petróleo: situación actual y perspectivas futuras en México”, *Las perspectivas del petróleo mexicano*, México, El Colegio de México, 1979, pp. 65-66.

6 V. V. Sastri. “Research and Training in State Petroleum Enterprises”, *State Petroleum Enterprises in Developing Countries*, *cit.*, p. 123.

la materia orgánica, transformándola en hidrocarburos: petróleo y gas natural.

Las diminutas gotas de petróleo líquido se filtraron a través de fisuras y poros rocosos hasta quedar atrapadas en rocas permeables, en medio de piedras de esquistos en la parte superior, y agua salada, por el inferior. Comúnmente, en esta clase de depósitos, el gas —más ligero— llena los poros del reservorio como si formara un “techo”, por encima del petróleo.⁷

Existen tres métodos fundamentales para la prospección o búsqueda de yacimientos petrolíferos: 1) el estudio mediante mapas geológicos de la composición del terreno superficial en los que la localización de áreas de gas natural suele vaticinar la proximidad de depósitos de petróleo, así como la orografía del suelo indica en determinados casos la estructura del propio subsuelo; 2) las observaciones sismográficas, que delatan las posibles grietas y estratos inconsistentes de las capas superficiales, ocasionalmente rellenos o impregnados de crudo; y, 3) la medición de la gravedad de la Tierra en distintos puntos mediante instrumentos de precisión capaces de detectar las pequeñas variaciones en la misma por los accidentes internos del terreno.

Dentro de la industria del crudo, la palabra *petróleo* incluye todos los hidrocarburos móviles que pueden ser recuperados en la capa subterránea mediante la perforación de pozos en la superficie —petróleo crudo, gas asociado con el mismo (gas de cabeza de tubería o disuelto en el petróleo), gas natural (libre) no asociado con el hidrocarburo, y condensados líquidos formados a partir de este último.⁸

La mezcla de hidrocarburos que constituyen el crudo contiene básicamente tres familias de compuestos: las parafinas o hidrocarburos saturados, los más extendidos que se incluyen en su serie, desde el metano, que forma yacimientos independientes de gas natural, hasta las sustancias líquidas empleadas en la fabricación de gasolinas y aceites; los naftenos o cicloparafinas, de estructura química molecular en anillo, que comprenden tanto líquidos como sustancias volátiles y oleosos alquitranes; y los hidrocarburos aromáticos, derivados químicamente del benceno y que poseen en su estructura interna una equilibrada combinación de ciclos de átomos de carbono unidos mediante enlaces dinámicos llamados mesómeros.

El petróleo se extrae del suelo por tres métodos: primario, secundario y terciario. En el primero el hidrocarburo se trae a la superficie por

7 Yergin, *op. cit.*, p. 1059.

8 Meyerhoff, *op. cit.*, p. 51.

presión natural del gas (“fluido gratuito”) o por bombeo. Por el siguiente, el crudo se recupera mediante pozos perforadores, habitualmente rotatorios. Cuando el barreno penetra en un depósito, la menor presión permite al petróleo fluir por el orificio del pozo, saliendo a la superficie en forma de chorro.

El acceso del líquido a nivel del suelo rara vez es espontáneo, y precisa de la ayuda de bombas extractoras o de la expulsión a presión fuera del reservorio usualmente a través de la inyección de agua o con gas que se inyecta de nuevo en el depósito, técnica esta última conocida como “elevación por gas”. Lo que sale a la superficie es crudo de petróleo caliente, en ocasiones acompañado de gas.⁹

En el proceso terciario se introducen detergentes implementados junto con otros agentes químicos en el terreno para separar, gota a gota, el petróleo de sus alrededores arenosos para darle la bienvenida a ras del suelo.

En la práctica, la recuperación terciaria es muy eficiente pero igualmente incosteable. La cantidad y el precio de los detergentes empleados la hacen impráctica desde el punto de vista comercial. Sin embargo, en promedio, el método primario extrae cerca del 20% del petróleo existente, y el secundario sólo el 13%. El terciario es sin lugar a dudas el mejor y espera un desarrollo que lo haga viable a niveles competitivos.¹⁰

Un equipo de superficie separa el petróleo del agua que con frecuencia lo acompaña y lo almacena en tanques cilíndricos a presión atmosférica. Posteriormente, se purifica y trata en las refinerías y plantas petroquímicas para transformar el hidrocarburo en productos más deseables.¹¹

El anterior sumario de los aspectos principales del proceso industrial petrolero permite una aproximación a la enorme importancia que tiene la tecnología para el eficiente desarrollo de la industrialización del crudo.

En 1962, cuando los países subdesarrollados obtuvieron la aceptación internacional para garantizar su derecho soberano para disponer libremente de sus recursos naturales, la demanda por la transferencia de tecnología asumió un nuevo significado.

Dentro de la *Declaración sobre el establecimiento de un nuevo orden económico internacional*, de la ONU, del 2 de mayo de 1974, existía

9 Yergin, *op. cit.*, pp. 1059-1060.

10 Blair, *op. cit.*, p. 327.

11 García Colín-Scherer, *op. cit.*, pp. 72-73.

un capítulo (IV) relativo a la transferencia de tecnología en el que la Asamblea General recomendaba lo siguiente:

Debe hacerse todo lo posible para:

a) Formular un código internacional de conducta para la transmisión de tecnología que se ajuste a las necesidades y condiciones existentes en los países en desarrollo.

b) Dar acceso en condiciones más favorables a la tecnología moderna, y adaptar ésta, si fuera necesario, a las condiciones económicas, sociales y ecológicas concretas y a las distintas etapas de desarrollo de los países subdesarrollados.

c) Expandir en forma significativa la asistencia de los países desarrollados a los países en desarrollo en forma de programas de investigación y sus aplicaciones prácticas y mediante la creación de una tecnología autóctona adecuada.

d) Ajustar las prácticas comerciales que rigen la transmisión de tecnología a las necesidades de los países en desarrollo y evitar que se abusen los derechos de los vendedores.

e) Promover la cooperación internacional en materia de investigación y sus aplicaciones prácticas en la exploración, explotación, conservación y aprovechamiento legítimo de los recursos naturales y de todas las fuentes de energía.

Al tomarse las citadas medidas, deben tenerse presente [sic] las necesidades especiales de los países en desarrollo menos adelantados y sin litoral.¹²

Los países subdesarrollados se dieron cuenta de la importancia del acceso a la tecnología por un método diferente a la tradicional importación del *know-how* o compra del conjunto *aparato productivo-tecnología* “llave en mano”.¹³ La política de las empresas petroleras estatales a este respecto ha tomado dos caminos principales: promover o implementar estándares asumidos por los Estados para regular la adquisición de tecnología (abarcando un escrupuloso estudio de alternativas para cerciorarse de que la elección realizada sea armónica con las necesidades del país); y establecer centros de enseñanza a nivel técnico.

También han creado centros para la investigación y capacitación de personal para la industria petrolera.¹⁴

¹² Arauz, *op. cit.*, p. 278.

¹³ Kaplan, “El impacto del petróleo...”, *cit.*, p. 60.

¹⁴ Vanrell Pastor, *op. cit.*, p. 87. En los apéndices II y III (pp. 197-206) de la obra *State Petroleum Enterprises in Developing Countries*, que he seguido para este trabajo, existen sendas listas sobre instituciones de investigación y de capacitación de personal en países subdesarrollados en un número aproximado a las cincuenta, mismos que se recomienda consultar al interesado.

Por otra parte, las exigencias energéticas movieron a algunos gobiernos latinoamericanos a asumir mayores responsabilidades en los campos de estudios sísmicos, aeromagnotométricos, geológicos y geofísicos sobre todas las áreas cubiertas por la exploración; para lo cual deben aceptar ciertos riesgos financieros, obteniendo para ello asistencia técnica de Naciones Unidas o de ciertos países, entre ellos México, Venezuela, Brasil y Argentina, y también recursos financieros de instituciones internacionales como el Banco Mundial o el Banco Interamericano de Desarrollo, para los efectos de contratar directamente con empresas calificadas.¹⁵

La tecnología no es una suma o conjunto finito en cantidad o calidad. Cambia continuamente y se actualiza. Puede abarcar equipo y herramientas, patentes y procesos, pero no sólo es eso. Abarca también un elemento intangible: el conocimiento de la técnica para manejar y utilizar esas herramientas, equipo, patentes o procesos para alcanzar la realización de metas objetivas, como son principalmente, la producción de bienes y servicios.

John Kenneth Galbraith opina que “la tecnología significa la aplicación sistemática del conocimiento científico u otro conocimiento organizado con fines prácticos”. Por ello, la tecnología puede y debe aprenderse, no solamente “transferirse”.¹⁶

Como se ha dicho, el primer paso que deben seguir los países subdesarrollados, a través de sus respectivas compañías petroleras, es el de determinar qué empresas en el mundo poseen o controlan los diferentes aspectos de la tecnología del crudo.

Podría pensarse que la mayoría de las patentes, equipo o herramientas están en manos de las principales transnacionales, lo cual es completamente falso. Existen cantidad de compañías especializadas en todas y cada una de las ramificaciones de la industria petrolera. En la mayoría de los casos las mayores y otras compañías petroleras en el mundo contratan los servicios de firmas especialistas en determinadas áreas tecnológicas por no contar con la capacidad técnica para realizar directamente ciertas labores.

Bastan los siguientes ejemplos: firmas especializadas prestan servicios a las hermanas, por lo común, para la extinción de incendios y perforaciones submarinas. En materia de refinación, los principales avances no fueron hechos inicialmente por las mayores. El primer proceso para

¹⁵ Villagrán Kramer, *op. cit.*, pp. 189-190.

¹⁶ D. H. N. Alleyne, “The State Petroleum Enterprise and the Transfer of Technology”, *State Petroleum Enterprises in Developing Countries*, *cit.*, pp. 110-111.

la desulfuración del crudo se desarrolló en 1887 por Herman Frasch, un químico alemán. La patente fue adquirida y aplicada con éxito a gran escala por la Standard Oil Co.

El proceso de contratación para la transferencia de tecnología, luego de la elección mencionada, se efectúa mediante el pago de una cantidad a la firma especializada, el cual debe abarcar: el equipo y/o la herramienta, el proceso, la técnica y un servicio que incluya el *know-how* —la pericia necesaria para el manejo efectivo de los anteriores elementos—. Pero para que pueda considerarse la tecnología totalmente “transferida”, el país comprador debe capacitar a su propio personal para iniciar así su desenvolvimiento tecnológico.¹⁷

El cambio tecnológico ha mantenido viva la esperanza de aumentar el suministro de energía, reduciendo a la vez su demanda. Las nuevas tecnologías han puesto mayor interés en nuestros días en el reemplazo de los productos menos relevantes derivados del petróleo.

Algunas de las fracciones volátiles del crudo que constituyen vapores a temperaturas ordinarias, mejor conocidas como gas natural, prestan mayores ventajas que el petróleo y su uso se ha incrementado aún en mayor escala que el de las fracciones líquidas del hidrocarburo.¹⁸

En los Estados Unidos, actualmente se ha dado la mayor prioridad energética al carbón, el gas y el petróleo de nuevas fuentes; asimismo, se busca intensificar las técnicas de recuperación y la energía de extracción de los materiales de desecho. Para la recta final de este siglo, se busca el desarrollo de nuevos procesos para la producción de combustibles sintéticos del carbón y de la prospección de crudo de los esquistos bituminosos, al igual que las fuentes geotérmicas. Estas últimas pueden obtenerse del vapor natural o a partir de rocas calientes y secas. El vapor natural es viable económicamente, pero la situación es un tanto compleja, pues se requiere de una combinación, no muy usual desde el punto de vista geológico, de rocas calientes, un sistema de agua subterránea y una cubierta pétreo impermeable que impida la salida del vapor, y que a la vez ejerza presión sobre él. En suma, esta tecnología se encuentra aún en una etapa muy temprana de desarrollo.¹⁹

También pueden formarse hidrocarburos adicionales por la combinación de carbón común con hidrógeno bajo presión, aunque a un costo

17 *Ibid.*, pp. 114-117.

18 Asimov, *op. cit.*, p. 427.

19 CONACYT, “Energía: perspectivas globales 1985-2000”, *El petróleo en México y en el mundo*, *cit.*, p. 190.

sustancial. Este proceso fue desarrollado por el químico alemán Friedrich Bergius, en los años veinte, invención que le valió compartir el premio Nobel de Química en 1931. En algunos países, el carbón se ha logrado transformar en un combustible sólido, limpio, sin producir humo y relativamente fácil de manejar para la calefacción de casas habitación y oficinas.

Las reservas probadas de carbón en el mundo, recuperables desde un punto de vista estrictamente económico, son del orden de 700 mil millones de toneladas métricas, equivalentes a tres billones de barriles de petróleo. Aunque estas reservas, como el hidrocarburo, se encuentran distribuidas de manera desigual: Estados Unidos, China y la CEI producen casi el 60% del total mundial; Polonia, Alemania y el Reino Unido aportan un 15% adicional, aunque el hemisferio sur cuenta también con un enorme potencial de este mineral.²⁰

Pero mucho más trascendental aún a largo plazo está la posibilidad de encauzar directamente parte de la vasta energía solar, a un ritmo 50 mil veces mayor que toda la energía consumida en nuestro planeta, para lo cual, las *baterías solares* constituyen un artificio particularmente prometedor. La cantidad energética que se proyecta sobre una superficie en cualquier rescoldo soleado de la Tierra, es de 9.4 millones de kilovatios-hora por año. Si ciertas zonas especialmente favorecidas en este sentido, tales como las regiones desérticas (Valle de la Muerte, desierto del Sahara, etcétera), contaran con instalaciones de baterías solares y acumuladores eléctricos, serían capaces de proveer a todo el orbe con la electricidad necesaria por un periodo temporal indefinido. La dificultad principal es la de los costos. Los cristales puros de silicio recortados, indispensables para las células solares, son muy caros. Desde que la Bell Telephone Laboratories los concibió en 1954, su precio ha disminuido en un 250%, no obstante, la electricidad solar continúa siendo diez veces más cara que la generada por el petróleo.

Tampoco puede olvidarse otra posible solución: la energía nuclear o energía albergada dentro de los diminutos núcleos atómicos, de reciente aparición y disponible en grandes cantidades. La fisión de una onza de uranio produce tanta energía como la combustión de noventa toneladas de carbón o 7 mil 500 litros de petróleo. El uranio es un elemento bastante común en la corteza terrestre; se le encuentra en la proporción de dos gramos por tonelada de roca; es decir, es 400 veces más común que el oro.

20 *Ibid.*, pp. 180-181.

El problema con este tipo de energía es el del escaso margen de seguridad en su manejo y las graves consecuencias que puede traer consigo algún accidente nuclear. Lo que ha ocurrido mayoritariamente en estos casos es que el mantenimiento de tales instalaciones responde antes a criterios económicos que a principios sociales y humanitarios.²¹

A largo plazo (después del año 2000), se piensa en generadores nucleares, la fusión, la energía del viento, etcétera.²²

Tampoco puede olvidarse el deterioro del medio ambiente provocado por la producción y utilización de los energéticos, lo cual no puede continuar aplazándose, como hasta ahora se ha hecho. Estas repercusiones ambientales son de dos tipos: 1) locales, mismas que pueden controlarse a través de la tecnología apropiada y cuyos costos pueden incluirse en los precios de la energía; y, 2) regionales o globales, que son sumamente difíciles, por no decir imposibles de controlar.

Los efectos locales contemplan la contaminación del agua ocasionada por la minería, el transporte de combustible y el calor de desecho de las plantas eléctricas; contaminación proveniente de las emisiones de los automóviles, de la combustión del petróleo, gas y carbón (partículas, azufre, óxidos de nitrógeno, etcétera).

El debilitamiento progresivo del suelo ocasionado por la minería, la contaminación ocasionada por derrames de barcos petroleros, o la producida durante el proceso de extracción de crudo en el mar, son básicamente controlables, siempre y cuando se esté dispuesto a pagar los costos, ya sea en el precio de los productos o mediante impuestos, todo ello con tal de que se hagan efectivos los controles nacionales e internacionales de responsabilidad sobre la contaminación.

Respecto a los efectos generales del empleo de la energía, se puede mencionar al efecto invernadero por la acumulación de bióxido de carbono en la atmósfera, ocasionado por el uso de combustibles fósiles. Por otro lado, la presencia de partículas en las capas atmosféricas afectan al clima en diversas formas. Todavía se necesita investigar más a este respecto, tanto a escala regional como global.²³

21 Horacio García, "El aprovechamiento de la energía nuclear", *Información Científica y Tecnológica*, vol. 10, núm. 146, noviembre de 1988, p. 39.

22 Asimov, *op. cit.*, pp. 428, 431-437; Blair, *op. cit.*, pp. 324-327.

23 CONACYT, *op. cit.*, p. 193.