



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Prospectiva del Uso de la Energía Nuclear para
Generar Electricidad para México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO

PRESENTA:

Alfonso Salazar Moreno

DIRECTOR DE TESIS:

M.A. Víctor Damián Pinilla Morán



Ciudad Universitaria, D.F.

Septiembre 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A Dios, a quien tardé en encontrar, pero que ahora sé siempre estuvo ahí, en un consejo de mi abuelo, en un beso de mi madre, en un abrazo de un amigo, en un examen que no supe ni como pasé, no tengo más que decirte Padre mas que Gracias.

A mi Madre, Dolores Moreno Becerra, por su apoyo y esfuerzo constante, por darme las cosas más importantes: amor, presencia, cuidados, consejos. Por mantenerse estoica ante la adversidad, por no dejarme saber lo que son las carencias de ningún tipo, por ser más de lo que le tocaba ser, pero más que nada Gracias por tu inconmensurable amor por mí. Sabes que sin ti esto nunca lo hubiera logrado.

A mi abuelo, Alfonso Moreno Briseño, por sus consejos, por su eterno ejemplo de rectitud, responsabilidad, honestidad, honorabilidad, esfuerzo y sacrificio, pero más que nada Gracias por el amor incondicional que irradias.

A mi abuela, Estela Becerra Vázquez, por haber estado presente cuando otros no estuvieron, por su ejemplo de superación y perseverancia pero más que nada gracias por la familia que formaste.

A mis tíos, Jesús Moreno y Rosa Lares, por apoyarme de manera incondicional siempre que los he necesitado, gracias por todos sus consejos, solo puedo decirles Gracias.

A mi familia, Tía Lupita, Tío Alfonso, Magos, mis primos Axel, Jahir, Jazziel, Jenny, Aban, Yoana, Emiliano, Jazmín, Jimena, por compartir tantos momentos inolvidables. Gracias por el cariño, apoyo y la confianza que hemos conservado a pesar de todo. Los quiero mucho.

A mi P.P. (Pater Putatibus), Víctor Pinilla, por haberme guiado con sabiduría y sencillez desde el principio de mi formación profesional, por la paciencia que me ha tenido, por los comentarios constructivos durante mis estudios, por la amistad y la confianza que me ha brindado. Una vez más reitero mi profundo agradecimiento. Hay veces que las personas que perdemos vuelven a nosotros, aunque no siempre en la forma en la que esperamos.

A mis amigos de la CPICT, Gracias por haber contribuido ya sea directa o indirectamente en mi carrera profesional.

A mis amigos, gracias por las tareas y los proyectos que no me salían y a ustedes tampoco, por la cascarita de los viernes, pero más que nada Gracias por regalarme el privilegio de llamarme amigo.

A mis sinodales, por el tiempo empleado en la revisión y supervisión de éste trabajo, por sus consejos constructivos en pos de la superación de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería, porque en su interior aprendí el significado de las palabras: perseverancia, superación, supervivencia, esfuerzo, estudio, amistad, pero más que nada Gracias por haberme ayudado a fortalecer mi carácter.

A la UNAM, por darme la oportunidad de superarme y formar mi carácter, porque me dio la oportunidad de expandir mis conocimientos y experimentar todas las emociones y sensaciones que mi ser deseaba, Gracias.

“ Por mi raza hablará el espíritu”

Índice

	Página
Introducción	<i>xiii</i>
1. Generación de energía eléctrica nacional.	1
1.1 Generación de energía eléctrica para el servicio público.	1
1.2 Combustibles de origen fósil para la generación de energía eléctrica.	4
1.2.1 Carbón.	4
1.2.2 Combustóleo y Diesel.	4
1.2.3 Gas Natural.	5
1.3 Energías Renovables en México. El Estado Actual y el Potencial.	5
1.3.1 Energía Eólica	7
1.3.2 Energía Solar.	10
1.3.3 Energía Hidráulica	14
1.3.4 Bioenergía	16
1.3.5 Energía Geotérmica	18
1.3.6 Energía oceánica	20
1.4 Principios básicos de la energía nuclear.	23
1.4.1 Energía de fusión.	23
1.4.2 Energía de fisión.	24
1.5 Componentes básicos de un reactor nuclear.	25
1.5.1 Combustible.	26
1.5.2 Moderador.	27
1.5.3 Refrigerante.	27
1.5.4 Barras de control.	28
1.5.5 Otros componentes.	28
1.6 Tecnologías de reactores.	28
1.6.1 Reactor de agua presurizada (PWR).	29
1.6.2 Los reactores VVER.	30
1.6.3 Reactores de agua hirviente (BWR)	31
1.6.4 Reactores presurizados de agua pesada (PHWR).	31
1.6.5 Reactores enfriados por gas (GCR).	32
1.6.6 Reactor Hirviente de Potencia (RBMK).	33
1.6.7 Reactores rápidos de cría.	33
1.7 Vida útil de los reactores.	34
1.8 La economía de la energía nuclear.	34
1.9 El programa de energía atómica 2010 de los Estados Unidos.	36

	Página
1.10 Disposición de los desechos radiactivos.	37
1.11 Aspectos importantes de la energía nuclear.	38
1.11.1 Armas Nucleares.	39
1.11.2 Tratado de No Proliferación Nuclear.	41
1.12 Energía nuclear en México.	43
2. Fuentes de energía para la generación de electricidad en México.	45
2.1 Disposición de recursos energéticos primarios para la generación de electricidad en México.	51
2.2 Las reservas de petróleo en México.	52
2.3 Las reservas de hidrocarburos de la región Norte y sus implicaciones en el sector eléctrico.	54
2.4 Las reservas de gas natural en México.	57
2.5 Escasas probabilidades de encontrar significativas reservas de hidrocarburos en las aguas profundas del Golfo de México.	59
2.6 Las reservas de carbón en México.	61
2.7 Análisis de los datos anteriores.	64
2.8 ¿Qué están haciendo otros países productores y consumidores de petróleo?	65
2.8.1 Países productores.	65
2.8.2 Países consumidores.	72
2.9 De las energías renovables, ¿cuáles son una alternativa real para México?	78
2.9.1 Potencial bioenergético.	78
2.9.2 Evaluación del potencial eoloenergético.	81
2.9.3 Evaluación del potencial minihidráulico.	87
2.9.4 Evaluación del potencial solar	91
2.9.5 Evaluación del potencial geotérmico.	95
2.9.6 Barreras en el desarrollo de las energías renovables en México.	101

	Página
3 La energía nuclear.	103
3.1 Situación Actual.	104
3.2 El ciclo del combustible nuclear.	106
3.2.1 El inicio del ciclo.	107
3.2.2 El final del ciclo.	111
3.2.3 Desmantelamiento.	113
3.3 Aspectos económicos de la energía nuclear.	115
3.3.1 Costos, riesgos y desventajas.	115
3.3.2 Aspectos competitivos.	118
3.4 La energía nuclear y el desarrollo sostenible.	121
3.4.1 Demanda de energía.	121
3.4.2 El desarrollo sostenible.	122
3.5 Perfil Nuclear de México.	130
3.5.1 Reservas de uranio en México.	130
3.5.2 Ciclo del combustible.	132
3.5.3 Manejo del desperdicio nuclear.	133
3.5.4 Regulación y Seguridad.	133
3.5.5 Investigación y Desarrollo.	134
3.5.6 No-Proliferación.	134
3.6 Otras aplicaciones de la energía nuclear.	135
4 Prospectiva: un enfoque estratégico.	136
4.1 Planeación estratégica.	137
4.2 El insumo tecnológico.	140
4.3 El futuro.	144
4.4 Desarrollo de la prospectiva.	146
4.4.1 Líneas tecnológicas.	148
4.4.2 Componentes básicos de la prospectiva.	153
4.4.3 Fases de la prospectiva.	154
4.4.4 Elaboración de escenarios.	155
4.5 Resultados.	161

	Página
5 Prospectiva del uso de la energía nuclear como fuente de energía alterna para generar electricidad para México.	162
5.1 Misión, Visión y Objetivos.	176
5.1.1 Misión.	176
5.1.2 Visión.	176
5.1.3 Valores.	176
5.2 Análisis FODA.	177
5.2.1 Análisis interno (Fortalezas y Debilidades).	178
5.2.2 Análisis externo (Oportunidades y Amenazas).	178
5.3 Definición del insumo tecnológico.	182
5.3.1 Elementos internos (Paquete tecnológico).	182
5.3.2 Producto.	186
5.4 Desarrollo de la prospectiva.	187
5.4.1 Diagnóstico y Proyección.	193
5.4.2 Planeación prospectiva.	210
5.4.3 Planeación estratégica	221
5.5 Definición de líneas tecnológicas.	222
5.6 Definición del grado de dependencia tecnológica.	223
5.7 Proceso de asimilación tecnológica.	223
5.8 Elaboración de la estrategia.	225
5.9 Puesta en marcha.	227
 Conclusiones	 231
 Referencias	 234

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Central Eólica de La Venta II.	8
Figura 2. Campo Eoloeléctrico La Venta.	9
Figura 3. Celdas Fotovoltaicas.	11
Figura 4. Central solar de canal parabólico Kramer Junction, California.	11
Figura 5. Planta híbrida San Juanico.	13
Figura 6. Pequeña central hidroeléctrica de Las Trojes.	14
Figura 7. Chilatán.	15
Figura 8. Planta Geotérmica: Los Azufres, Michoacán.	19
Figura 9. Central mareomotriz de Rance.	21
Figura 10. Boya Undimotriz.	22
Figura 11. Una fisión nuclear típica.	24
Figura 12. Componentes básicos de un reactor nuclear (presurizado).	26
Figura 13. Un reactor de agua presurizada (PWR).	30
Figura 14. Un reactor de agua hirviente (BWR).	31
Figura 15. Vista general de una Planta Nuclear CANDU.	32
Figura 16. Laguna Verde.	44
Figura 17. Tablero de LV.	44
Figura 18. La Región Norte está constituida por una parte continental y otra marina.	55
Figura 19. Áreas de explotación de PEMEX.	55
Figura 20. Burj Khalifa.	71
Figura 21. The World Islands.	72
Figura 22. Palm Islands.	72
Figura 23. Granja eólica Horns Reef.	76
Figura 24. Regiones con posibilidades en México para la construcción de centrales eoloeléctricas.	83
Figura 25. Sitios donde la CFE y el IIE han llevado a cabo mediciones anemométricas dentro del territorio nacional.	84
Figura 26. Oaxaca mapa de recursos eólicos.	86
Figura 27. Irradiación solar global anual.	93
Figura 28. Irradiación solar directa anual.	93
Figura 29. Irradiación solar difusa anual.	94
Figura 30. Recursos Geotérmicos de México.	100
Figura 31. El Ciclo del combustible nuclear.	106
Figura 32. Cascada de centrifugadoras en Rokkashomura, Japón.	109
Figura 33. Ensamblaje típico BWR.	110
Figura 34. Pastilla de combustible típica.	110
Figura 35. Composición y reprocesamiento del combustible utilizado.	111
Figura 36. Elementos de un desarrollo sostenible aplicable a la energía nuclear.	122
Figura 37. Matriz de análisis FODA.	139
Figura 38. Esquema general de un proceso estratégico.	140
Figura 39. Modelo vectorial del insumo tecnológico.	142
Figura 40. Definición de los tres escenarios temporales.	146
Figura 41. Esquema integral de la prospectiva.	148
Figura 42. Líneas tecnológicas.	149
Figura 43. Proceso simplificado para una prospectiva estratégica.	161
Figura 44. Ordenamientos jurídicos que rigen las actividades del sector eléctrico.	163
Figura 45. Diagrama organizacional del Sector Eléctrico Mexicano.	172
Figura 46. Estructura organizacional SENER.	172

	Página
Figura 47. Estructura organizacional CFE.	173
Figura 48. Proceso simplificado para una prospectiva estratégica con referencias.	175
Figura 49. Etapa actual del proceso: Definición de la Misión, Visión y Valores.	176
Figura 50. Etapa actual del proceso: Análisis FODA.	177
Figura 51. Etapa actual del proceso: Definición del insumo tecnológico.	182
Figura 52. Nueva estructura organizacional propuesta para CFE.	183
Figura 53. Etapa actual del proceso: Desarrollo de la prospectiva.	187
Figura 54. Distribución de Planta Unidades 1 y 2.	198
Figura 55. Edificio del reactor (1), vasija (2) y barras de control (3).	199
Figura 56. Edificio de control.	201
Figura 57. Edificio de tratamiento de agua.	201
Figura 58. Ciclo termodinámico CNLV.	203
Figura 59. Definición de la línea tecnológica.	222

Índice de gráficas

	Página
Gráfica 1. Generación bruta en el servicio público por tipo de planta, 1998-2008.	1
Gráfica 2. Participación por combustible y fuente primaria en la generación bruta del servicio público, 1998-2008.	3
Gráfica 3. Capacidad instalada de Generación Eléctrica.	6
Gráfica 4. Potencial de la Energía Eólica en Oaxaca.	9
Gráfica 5. Tipos de reactor en uso mundialmente (a enero del 2003).	29
Gráfica 6. Decremento del combustible nuclear gastado, almacenado en el mundo al integrar sistemas de reactores rápidos y de agua ligera, proyección al 2100.	38
Gráfica 7. Aportación de las fuentes de energía para la generación de electricidad en México en 2000 y su proyección al 2010.	50
Gráfica 8. Evolución del nivel de reservas totales de hidrocarburos en México, 1980-2007.	52
Gráfica 9. Estructura de las reservas de hidrocarburos en México, 1999-2007.	53
Gráfica 10. Producción de petróleo crudo por región geográfica en México, 1990-2002.	56
Gráfica 11. Extracción de gas natural 1995-2007.	57
Gráfica 12. Extracción de gas natural región 1995-2007.	58
Gráfica 13. Ciclo ilustrativo del flujo de capital para una planta de energía nuclear.	115
Gráfica 14. Diagrama típico de los costos de generación nuclear de electricidad.	117
Gráfica 15. Diagrama de los costos representativos de generación.	118
Gráfica 16. Emisiones de gas de efecto invernadero por generación de electricidad de diferentes fuentes.	125
Gráfica 17. Generación total de desperdicios por fuente de energía.	126
Gráfica 18. Comparación de los riesgos para la salud en los sistemas de energía.	129

Índice de tablas

	Página
Tabla 1. Capacidad y Generación Eléctrica en México por Tipo de Energía.	7
Tabla 2. Proyectos Eólicos de la Cartera del Sector Energía.	10
Tabla 3. Proyectos geotérmicos en etapa de factibilidad de la Cartera del Sector Energía.	20
Tabla 4. Isótopos importantes formados por la captura de neutrones en un reactor nuclear.	25
Tabla 5. Reservas probadas de petróleo crudo, producción anual y tiempo estimado de duración en México.	53
Tabla 6. Producción de caña y su correspondiente potencial de cogeneración.	78
Tabla 7. Generación anual de residuos sólidos por zona geográfica en el país.	79
Tabla 8. Contenido energético por recurso de biomasa.	79
Tabla 9. Composición de los residuos por zona geográfica en porcentajes.	80
Tabla 10. Velocidades y densidades de potencia medias anuales estimadas a 10 metros de altura en los diferentes puntos de medición.	82
Tabla 11. Recurso eólico para diferentes regiones de México.	85
Tabla 12. Estimaciones de pequeño, mini ó micro potencial hidroenergético realizados por la CONAE de 1994 al 2004 en una región de los estados de Veracruz y Puebla.	90
Tabla 13. Reservas geotérmicas de 20 Estados de México.	96
Tabla 14. Principales Instalaciones de conversión de uranio en el mundo.	108
Tabla 15. Principales Instalaciones de enriquecimiento de uranio en el mundo.	109
Tabla 16. Plantas comerciales de reprocesamiento de combustible utilizado en el mundo.	112
Tabla 17. Reactores seleccionados que se encuentran en proceso de desmantelamiento o ya lo han completado.	114
Tabla 18. Costos en la producción de electricidad por 7000 horas de producción.	119
Tabla 19. Matriz Prospectiva y Estratégica.	160
Tabla 20. Reactores que operan en México.	180
Tabla 21. Personal requerido por tipo de tecnología.	184
Tabla 22. Datos técnicos de la central nucleoelectrónica Laguna Verde.	193

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Estados firmantes del tratado.	42
Cuadro 2. Información básica de la central nuclear Laguna Verde	44
Cuadro 3. Vías de aproximación al futuro.	144
Cuadro 4. Técnicas para establecer escenarios.	156
Cuadro 5. Comparativo de Técnicas e Instrumentos.	157
Cuadro 6. Extracto de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear	166
Cuadro 7. Misión Visión y Objetivos de la CNSNS.	168
Cuadro 8. Misión Visión y Objetivos de la SENER.	170
Cuadro 9. Misión Visión y Objetivos de la CFE.	171
Cuadro 10. Análisis interno CFE.	178
Cuadro 11. Análisis externo CFE.	180
Cuadro 12. Matriz FODA.	181
Cuadro 13. Disciplinas técnicas requeridas por función a desarrollar.	185
Cuadro 14. Características del producto.	186
Cuadro 15. Matriz de riesgos del PREN.	188
Cuadro 16. Indicadores de control de riesgos, monitoreo y desarrollo del PREN.	189
Cuadro 17. Indicadores: desarrollo.	190
Cuadro 18. Indicadores: construcción.	190
Cuadro 19. Indicadores: operación.	191
Cuadro 20. Indicadores: desmantelamiento.	192
Cuadro 21. Indicadores: Cultural, social y político.	192
Cuadro 22. Escenarios de los indicadores: desarrollo.	212
Cuadro 23. Escenarios de los indicadores: construcción.	213
Cuadro 24. Escenarios de los indicadores: operación.	215
Cuadro 25. Escenarios de los indicadores: desmantelamiento.	216
Cuadro 26. Escenarios de los indicadores: Cultural, social y político.	216
Cuadro 27. Escenario Futurible: desarrollo.	218
Cuadro 28. Escenario Futurible: construcción.	218
Cuadro 29. Escenario Futurible: operación.	219
Cuadro 30. Escenario Futurible: desmantelamiento.	220
Cuadro 31. Escenario Futurible de los indicadores: Cultural, social y político.	220
Cuadro 32. Escenarios estratégicos.	221
Cuadro 33. Acciones estratégicas.	222
Cuadro 34. Grados de asimilación tecnológica.	224

Introducción

México, al igual que muchos países en el mundo, basa su desarrollo económico y su producción de energía en la explotación de combustibles fósiles. Esta situación estructural, entre otros muchos, genera dos situaciones motivo de este estudio:

1. Representa un problema a corto plazo en el sentido del deterioro ecológico global.
2. Debido al decaimiento en la producción petrolera mexicana, el acceso a los combustibles fósiles se está complicando.

En consecuencia, el país debe encontrar de inmediato sustitutos a los recursos petroleros. Desde el punto de vista de la generación de energía deben desarrollarse fuentes alternas a las actualmente utilizadas.

Por otra parte, existen ejemplos en el mundo sobre el desarrollo de fuentes de generación de energía eléctrica a partir de otras fuentes alternas tales como:

1. Eólica
2. Geotérmica
3. Solar (En sus modalidades fotovoltaicas y térmicas)
4. Biomasa
5. Mareomotriz
6. Térmica de los océanos

Que si bien, cumplen fundamentalmente con el cuidado del medio ambiente, aún no resultan tan eficientes como las basadas en combustibles fósiles; esto último obedece a su carácter de intermitencia y a que en la mayoría de los casos su desarrollo tecnológico es aún relativamente incipiente comparado con el que ha tenido la producción de energía eléctrica a partir del petróleo.

Por otra parte algunos países han optado por la producción energética basada en combustibles nucleares; en un principio se consideró que este medio tendría un futuro prometedor. Sin embargo, aun se carece de los medios necesarios para el manejo ciento por ciento confiable de la energía nuclear, tanto en el sentido de la operación de reactores nucleares como en el manejo de los desechos radioactivos.

En particular, diferentes accidentes ocurridos en el manejo de reactores han inhibido en las últimas décadas la construcción y proliferación de centrales nucleares productoras de energía eléctrica.

Ante el escenario a corto plazo (tecnológicamente hablando) del agotamiento de los recursos petroleros, se han escuchado opiniones sobre la reanudación de la construcción de plantas nucleoelectricas; sin embargo, también se ha mencionado que aún no ha sido posible remediar los problemas que hacen vulnerable la operación de reactores, principalmente la seguridad y la disposición de los residuos. Es por esto último que diversos expertos se han manifestado en el sentido de utilizar a la energía nuclear como un medio “temporal” generador de energía y que en forma paralela permita seguir investigando otras fuentes de energía que no representen un peligro para el hombre y su entorno.

El presente trabajo presentará un panorama basado en esta situación con el fin de que, con el uso de diversas herramientas de análisis como lo son la prospectiva y la administración de la tecnología, se determine una posible estrategia de una línea de acción tecnológica que pueda ofrecer al país la forma de sortear esta situación y de permitir un desarrollo sostenido, sobre el hecho de que no existe, o al menos, no se conoce, un plan de contingencia ante este escenario futuro no muy lejano.

Objetivo General

Desarrollar un estudio prospectivo relativo al uso de la energía nuclear para generar energía eléctrica en México.

Objetivos Específicos

- a) Analizar alternativas tecnológicas en el entorno del desarrollo de energías renovables, así como la relativa a la energía nuclear.
- b) Establecer las bases de una estrategia relativa al desarrollo y uso de la energía nuclear en México que busque:
 - Impulsar el desarrollo de la energía nuclear en México.
 - Ampliar el portafolio energético del país, impulsando una mayor seguridad energética al no depender de una sola fuente de energía.
- c) Establecer un estudio de prospectiva con base en las dos estrategias anteriores.

Alcance

El alcance de este trabajo será de naturaleza descriptiva preponderantemente, con aspectos correlativos en los casos donde la información así lo permita.

En el primer capítulo se describirá en primera instancia la situación actual de México en cuanto a la distribución actual de su matriz energética y un análisis somero del estado actual y el potencial de las energías renovables en nuestro país. En segunda instancia se realizará una descripción de la teoría relacionada con la energía nuclear de fisión y la tecnología actualmente utilizada en lo concerniente a los reactores nucleares utilizados actualmente alrededor del mundo.

En el segundo capítulo de este estudio se realizará un análisis de diagnóstico, retrospectiva y proyección del tema de las reservas petroleras de nuestro país, así como una comparativa de las acciones que llevan a cabo otros países petroleros y no petroleros encaminadas a su desarrollo. La segunda parte de este capítulo describirá de la mejor manera posible el potencial de las energías renovables en México.

En el tercer capítulo de este estudio se analizarán todos los aspectos relacionados con la energía nuclear, desde la situación actual de la utilización de esta tecnología alrededor del mundo, la descripción del ciclo del combustible nuclear, el desmantelamiento y los aspectos económicos de la energía nuclear, así como los aspectos del desarrollo sostenible de este tipo de energía, y un análisis del perfil de México en lo que respecta a los ámbitos relacionados con la energía nuclear y su aprovechamiento.

En el cuarto capítulo se realizará un estudio de la prospectiva con un enfoque estratégico, se describirán los elementos que la identifican, así como las fases que la componen, también se realiza la descripción de una de las técnicas utilizadas en el desarrollo de la prospectiva, que es en este caso la técnica de escenarios.

El quinto capítulo y final de este estudio esboza la aplicación del método prospectivo y de la técnica descrita e el capítulo cuarto, aplicado al incremento de la capacidad de energía nuclear de nuestro país para generar energía eléctrica, es aquí donde se proponen una serie estrategias necesarias, en la opinión del autor, para desarrollar de una manera estratégica la energía nuclear en México.

1. Generación de energía eléctrica nacional.

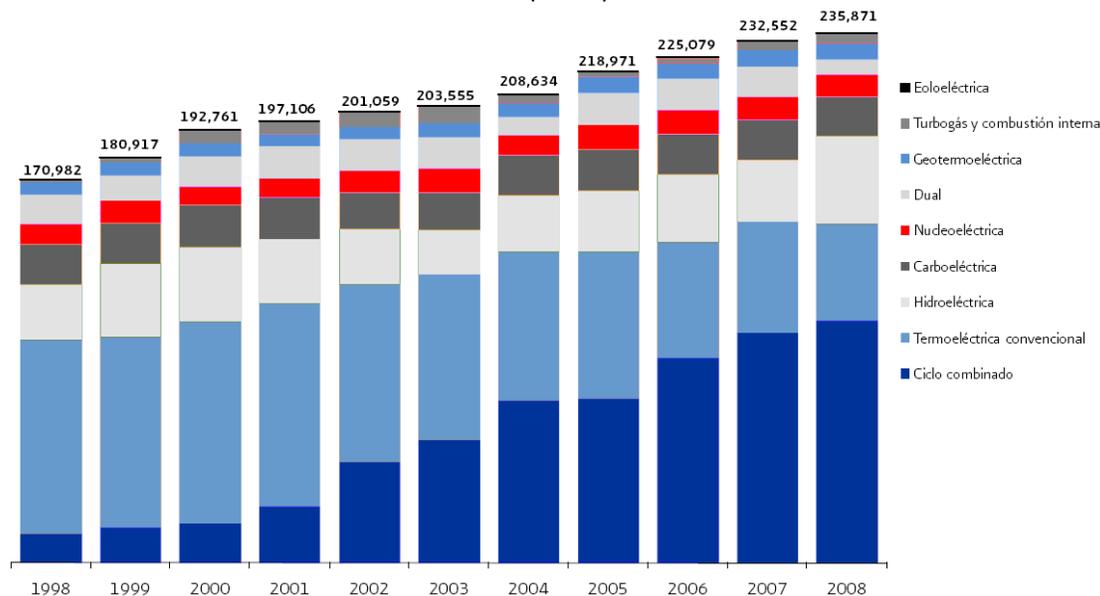
La generación de energía eléctrica nacional está integrada por dos categorías; la generación que es producida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la extinta Luz y Fuerza (LFC), y la generación por parte de los permisionarios que considera las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración, productores independientes, usos propios continuos y exportación.

En 2008 la generación de energía eléctrica ascendió a 269,260 GWh,¹ de los cuales la CFE y la extinta LFC aportaron el 59.4%, los productores independientes de energía el 28.2%, autoabastecimiento el 4.7%, cogeneración 4.6%, exportación 2.8% y usos propios continuos el 0.4%.²

1.1 Generación de energía eléctrica para el servicio público.

La generación de energía eléctrica para el servicio público en 2008 ascendió a 235,871 GWh, es decir, registró un incremento de 1.4% respecto al 2007. La generación de electricidad en centrales hidroeléctricas fue la que presentó el mayor dinamismo, al incrementar su generación en 11,850 GWh, es decir, 43.8% más que en 2007, para alcanzar 38,892 GWh. (Véase gráfica 1).

Gráfica 1. Generación bruta en el servicio público por tipo de planta, 1998-2008. (GWh)



FUENTE: SENER. Prospectiva del sector eléctrico 2009-2024. 2009

1 Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024, SENER 2009, México. Pág. 102.

2 Ídem.

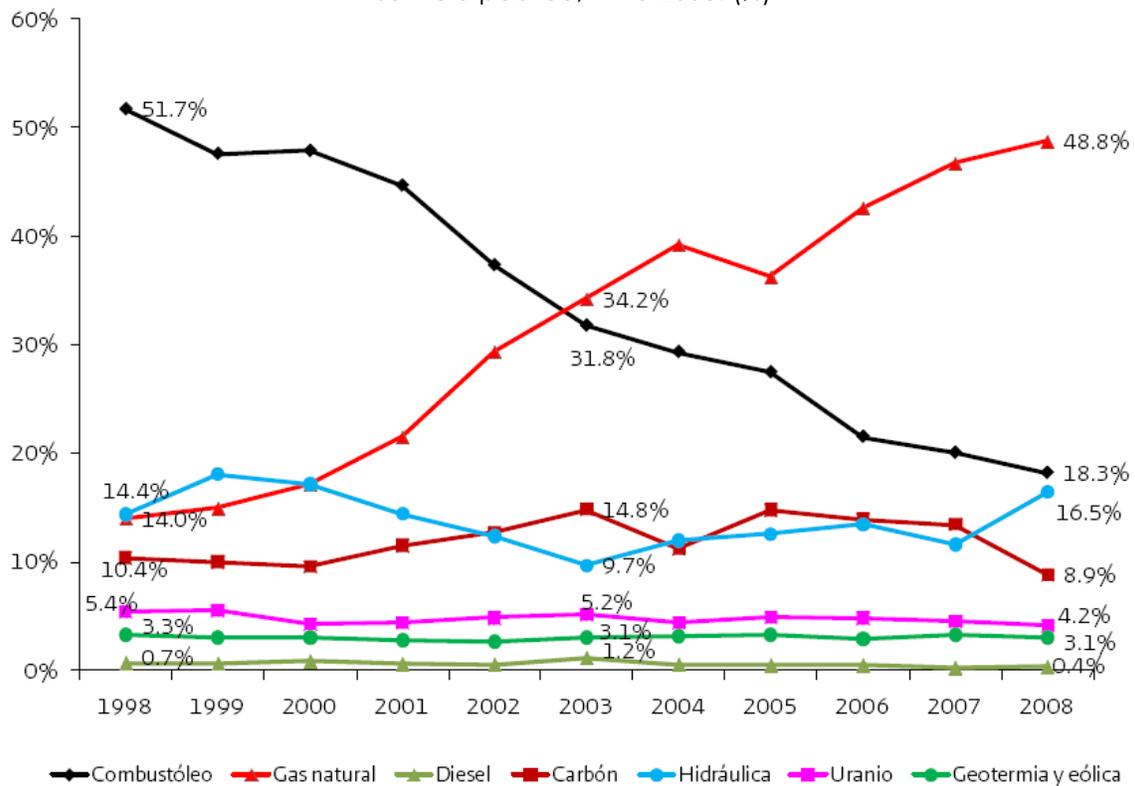
La generación eléctrica con base en hidrocarburos representa 65.8% de la generación eléctrica total. En 2008, la brecha entre la generación de las centrales de ciclo combinado (107,830 GWh) y la generación eléctrica de las centrales de combustóleo y/o gas (vapor), turbogas y combustión interna (47,362 GWh) continuó ampliándose. Cabe señalar que la participación de este tipo de centrales ha disminuido de 51.2% en 1998 a 20.1% en 2008 como resultado de un mayor despacho de centrales de ciclo combinado y el continuo retiro de unidades generadoras que utilizan combustóleo. En el caso de las centrales carboeléctricas y la central dual, su participación en la generación total se ubicó en 10.5% y la central nucleoeléctrica en 4.2%.

En lo que se refiere a las centrales basadas en fuentes renovables, a pesar del decremento de -4.7% en la electricidad generada por la geotermia, la generación renovable aumentó impulsada por las centrales hidroeléctricas y eólicas, con 43.8% y 2.5%. En total, la electricidad proveniente de fuentes renovable se ubicó en 46,202 GWh, lo que representa el 19.6% del total generado para servicio público en el país. La participación porcentual de cada fuente respecto al total es la siguiente: centrales hidroeléctricas 16.5%, centrales geotérmicas 3.0%, eólicas 0.1%.

Referente al consumo de combustibles para generación eléctrica, las centrales eléctricas utilizan diferentes combustibles: las centrales de vapor consumen combustóleo y/o gas natural; las centrales de ciclo combinado consumen gas natural; las centrales de turbogas consumen gas natural o diesel, las duales consumen carbón y combustóleo y las centrales de combustión interna en su mayoría consumen diesel.

Desde el punto de vista del tipo de combustible utilizado para la generación eléctrica, el consumo del gas natural se ha incrementando considerablemente. En 1998 la generación con base a gas natural representaba el 14%, 10 años después aumentó al 48.8% de la generación total. Mientras que la generación con base en el combustóleo en 1998 era del 51.7%, y para 2008 pasó a una participación del 18.3% (véase gráfica 2).

Gráfica 2. Participación por combustible y fuente primaria en la generación bruta del servicio público, 1998-2008. (%)



FUENTE: SENER. Prospectiva del sector eléctrico 2009-2024. 2009.

A partir del 2000, con la entrada en operación del primer productor independiente de energía, se marcó la tendencia al mayor consumo de gas natural por parte del sector eléctrico y al menor consumo de combustóleo para generar electricidad. Esto se debió a que el gas natural, respecto al resto de los combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica, es el más “limpio”, presenta una eficiencia térmica elevada y es más atractivo por sus costos de inversión y plazos de construcción cortos, los cuales dependen de la existencia de equipos y de los precios del gas natural.

El uso del gas natural en franca mayoría en nuestro país, se debe a la política empleada con respecto a la repotenciación de algunas termoeléctricas las cuales se convierten en ciclos combinados con el afán de “dar mayor vida” a la planta generadora en cuestión.

1.2 Combustibles de origen fósil para la generación de energía eléctrica.

Las combustibles de origen fósil son:

1.2.1 Carbón.

El carbón es una roca de fácil combustión que contiene más del 50% de su peso, y más de 70% de su volumen, de material carbonoso, incluyendo la humedad inherente, formada por compactación y endurecimiento de restos de plantas diversamente alteradas.

El carbón de origen nacional se utiliza en su totalidad en la Centrales Río Escondido de 1200 MW y Carbón II de 1400 MW. La Central Dual Petacalco tiene posibilidad de utilizar ya sea combustóleo y/o carbón.

Actualmente se emplea carbón importado. Esto es debido a que México no posee yacimientos carboníferos con costos de extracción competitivos. Así que se acude a la importación.

1.2.2 Combustóleo y Diesel.

El combustóleo (combustible residual de petróleo) se emplea en unidades generadoras de carga base, localizadas principalmente cerca de los puertos o en la proximidad de las refinerías:

Entre las principales se encuentran Tuxpan con 2100 MW y Manzanillo con 1900 MW. La capacidad instalada a base de combustóleo ha ido disminuyendo considerablemente, en 1998 era del 51.7%, y para 2008 pasó a una participación del 18.3%.

El Diesel se emplea en unidades que operan durante las horas de demanda máxima, para abastecer zonas aisladas y por restricciones de disponibilidad de gas. Toda la producción nacional de combustóleo se usa para la producción de energía, es la más cara y tiene problemas ecológicos, el incremento en el precio del petróleo, ha causado que el quemar diesel y combustóleo para la generación eléctrica sea poco competitivo e inteligente frente a otras fuentes de energía. Es por eso que actualmente los nuevos proyectos en el sector eléctrico están encaminados en un gran porcentaje al uso de gas natural en plantas de ciclo combinado, mientras que en países de la unión europea se está recurriendo a fuentes de energía como la nuclear y las energías renovables como la eólica, y solar principalmente.

1.2.3 Gas Natural.

El gas natural es un energético de importancia creciente en el mundo debido a que, la energía eléctrica generada con gas natural a través de la tecnología de ciclo combinado es una de las más baratas, sin olvidar que el gas natural se quema de forma más limpia y produce menor contaminación que otros hidrocarburos.

El gas natural ha cobrado especial importancia en los ciclos combinados recientes. Adicionalmente por restricciones ecológicas, se ha incrementado su uso en centrales termoeléctricas convencionales ubicadas en las grandes ciudades como el D.F. y Monterrey. A fin de hacer competitivo el equipo existente respecto a nuevas tecnologías, se han convertido centrales termogas a ciclos combinados. Hubo programas de repotenciación de centrales como Manzanillo, Tula, Valle de México, por mencionar algunas.

En México existen fuentes adicionales de gas natural aún sin explotar, las cuales requieren de estudios y proyectos a largo plazo. Los depósitos de gas extranjeros se contratan a precios competitivos, pero siempre a merced de los productores extranjeros y al orden de la oferta y la demanda.

1.3 Energías Renovables en México. El Estado Actual y el Potencial.

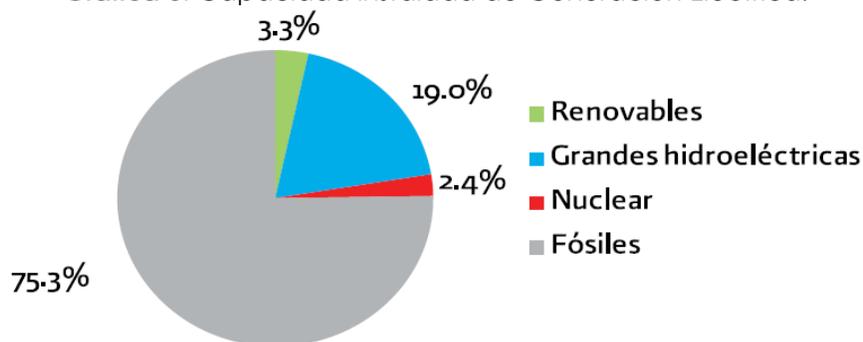
La energía en cualquiera de sus formas no puede crearse ni destruirse; sólo se puede cambiar de una forma a otra (primera ley de la Termodinámica). Aunque la energía no se pierde, sí se degrada en un proceso irreversible (segunda ley de la Termodinámica). Por ello, en rigor la energía no puede considerarse renovable. Lo que puede renovarse es su fuente, por ejemplo el viento, o una caída de agua. Sin embargo, el uso del lenguaje ha llevado a las fuentes renovables de energía a denominarse simplemente energías renovables. En el presente documento se utiliza el término energías renovables en esta acepción común.

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua. Las fuentes renovables de energía perdurarán por miles de años. Las energías renovables se pueden clasificar de distintas formas: por su origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías, y por las aplicaciones de las energías.

De acuerdo con la Prospectiva del Sector Eléctrico, la tendencia decreciente en la participación relativa de las energías renovables en la matriz energética del servicio público nacional continuará durante los próximos años. Sin embargo, si se toman en cuenta los proyectos de autoabastecimiento y cogeneración, la participación de las energías renovables aumentará en los próximos años, lo que permitiría alcanzar el 26%³ de participación en la capacidad instalada.

Actualmente, México cuenta con alrededor de 1,924.8 MW⁴ de capacidad instalada de generación eléctrica con base en energías renovables, que incluye la capacidad destinada al servicio público, cogeneración y autoabastecimiento, representando el 3.3%⁵ de la capacidad instalada en el servicio público del país.

Gráfica 3. Capacidad instalada de Generación Eléctrica.



FUENTE: SENER. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. 2009.

En México, los hidrocarburos (Incluyendo petróleo crudo y condensados, gas natural asociado y gas natural no asociado) mantienen la mayor participación en la oferta interna bruta de energía primaria, mientras que la contribución de las Energías renovables es marginal, empleándose principalmente para calefacción y para la generación de electricidad.⁶

Sin embargo, han acontecido incrementos importantes, impulsados por la SENER conjuntamente con CFE, en materia de hidroelectricidad, eoloelectricidad y geotermia.

En la siguiente tabla se muestra la capacidad instalada total, a partir de fuentes renovables, por tipo de tecnología utilizada:

3 Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 16.

4 Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. SENER 2009. México. Pág.18.

5 Ídem.

6 www.cfe.gob.mx, CFE 2005, México.

Tabla 1. Capacidad y Generación Eléctrica en México por Tipo de Energía (2008).**

Tecnología	Desarrollador	Capacidad		Generación	
		Anual (MW)	%Total	Anual (GWh)	%Total
Eoloeléctrica	CFE	85.250	0.15	231.505	0.09
Eoloeléctrica	Permisarios	0	0	0	0
Total Eoloeléctrica		82.250	0.15	231.505	0.09
Pequeña hidroeléctrica	CFE	270.128	0.46	1309.525	0.53
Pequeña hidroeléctrica	LFC	23.330	0.04	52.988	0.02
Pequeña hidroeléctrica*	Permisarios	83.492	0.14	228.053	0.09
Total Hidroeléctrica		376.950	0.65	1590.566	0.64
Geotermoeléctrica	CFE	964.500	1.66	7057.768	2.86
Biomasa y biogás*	Permisarios	498.116	0.86	819.345	0.33
Total		1924.816	3.31	9699.184	3.93
Total servicio público y permisarios	58105.537	100%	246785	100%	
<i>Participación Renovables</i>			3.31%		3.93%

* Incluyen proyectos Híbridos.

**Proyectos en operación al cierre del 2008.

FUENTE: SENER. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. 2009.

A continuación se describirá de manera somera las características principales de las distintas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, su situación actual y su potencial en México.

1.3.1 Energía Eólica.

Tecnología

Las turbinas eólicas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, ya sea para mover directamente una máquina tal como una bomba de agua, o bien para impulsar un generador eléctrico. Existen turbinas de muchos tamaños, desde unos 500 W, hasta más de 7 MW. Las de mayor tamaño están destinadas principalmente a granjas eólicas marinas. En el transcurso de las últimas dos décadas la tecnología de las turbinas eólicas ha avanzado radicalmente y sus costos se han reducido hasta hacerse competitivos con las tecnologías convencionales en contextos geográficos favorables.

Costos

El costo de las turbinas eólicas es de aproximadamente US\$1,700 por kW. El costo de la electricidad generada depende de la velocidad del viento y de su distribución a lo largo del año. En condiciones óptimas, con costos de alrededor de 5 centavos de dólar por kWh, esta tecnología resulta competitiva con muchas de las tecnologías convencionales de generación de electricidad.⁷

⁷ Banco Mundial Cit. en Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 18.

Estado Actual

La energía eólica se ha desarrollado a pasos acelerados en el Mundo durante los últimos años. En el año 2008, la capacidad instalada mundial llegó a los 120,800 MW. Tan sólo en el año 2008, se instalaron más de 27,000 MW de nueva capacidad eólica.⁸ En México existen en la actualidad 170 MW de capacidad eólica en operación,⁹ que se dividen en:

- 85 MW en los proyectos La Venta I y La Venta II operados por la CFE en el Istmo de Tehuantepec.
- 80 MW en el proyecto de autoabastecimiento Parques Ecológicos de México, que entró gradualmente en operación desde enero del 2009.
- 0.6 MW en una turbina de la CFE en Guerrero Negro, Baja California Sur.
- 2 MW en pequeños aerogeneradores en sitios aislados de la red.
- 3 MW en pequeñas aerobombas (turbinas eólicas que impulsan bombas hidráulicas).

Figura 1. Central Eólica de La Venta II.



FUENTE: SENER. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009.

8 Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 18.

9 Balance Nacional de Energía 2007 y Reforma, 2009 Cit. en Ídem.

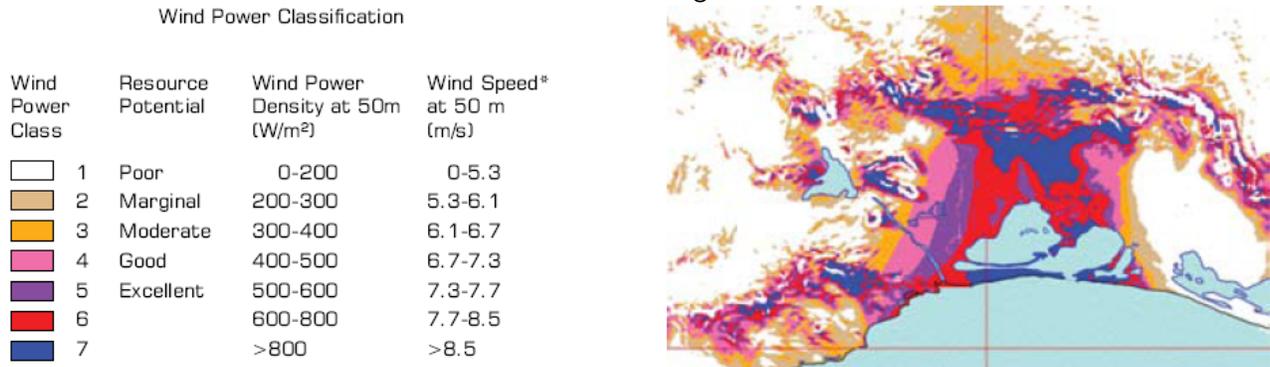
Potencial

Los estudios del *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) y diversas instituciones mexicanas como la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) han cuantificado un potencial superior a los 40,000 MW¹⁰, siendo las regiones con mayor potencial, el Istmo de Tehuantepec y las penínsulas de Yucatán y Baja California.

Las condiciones eólicas en el Istmo de Tehuantepec son de las mejores a nivel mundial. En Oaxaca hay zonas con velocidades del viento medidas a 50 m de altura superiores a 8.5 m/s, con un potencial de 6,250 MW, y otras con velocidades entre 7.7 y 8.5 m/s, con un potencial de 8,800 MW.

En Baja California, las mejores zonas están en las sierras de La Rumorosa y San Pedro Mártir (274 MW). Yucatán (352 MW) y la Riviera Maya (157 MW) tienen suficiente potencial para sustituir plantas que operan con combustóleo, diesel y generadoras de turbogas.

Gráfica 4. Potencial de la Energía Eólica en Oaxaca.



*Wind speeds are based on a Weibull k value of 1.8

FUENTE: Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca, (NREL), 2003.

Figura 2. Campo Eoloeléctrico La Venta.



FUENTE: www.cfe.gob.mx.

Proyectos en desarrollo

En el 2005 la CFE inició la construcción en la Venta, Oaxaca, de la primera planta eólica de gran escala en México (83 MW) que entró en operación en Octubre de 2006. Adicionalmente, la SENER tiene programada la construcción de otros 505 MW de capacidad eólica (en la modalidad de productor independiente) en la misma región en los próximos años, con lo que se espera tener instalados 588 MW en 2014.

¹⁰ Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca, National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2003, Estados Unidos de América.

Existen siete permisos otorgados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para proyectos privados de autoabastecimiento con tecnología eólica que aportarán en los próximos años un total de poco más de 950 MW¹¹ al Sistema Eléctrico Nacional.

Tabla 2. Proyectos Eólicos de la Cartera del Sector Energía.

Centrales Eólicas	Capacidad [MW]	Generación GWh/año
La Venta II	83	325
La Venta III	101	363
La Venta IV	101	363
La Venta V	101	350
La Venta VI	101	350
La Venta VII	101	350
Total	588	2,101

FUENTE: Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005.

Las posibilidades de desarrollo de la energía eólica en el corto y en el mediano plazo en México dependen no sólo del potencial físico del recurso, sino también de la capacidad industrial y de la capacidad del sistema eléctrico para absorber la electricidad generada sin poner en riesgo la seguridad y la estabilidad del sistema. La factibilidad económica de estos proyectos dependerá de los mecanismos regulatorios y del acceso a los instrumentos internacionales relacionados con la mitigación del cambio climático.

Existe también potencial técnico y económico para el desarrollo de sistemas eólicos en aplicaciones fuera de la red eléctrica, tales como la generación de electricidad y el bombeo de agua por medio de aerobombas.

1.3.2 Energía Solar.

Tecnología

Existen dos tecnologías para la generación de electricidad a partir de radiación solar: la fotovoltaica y la de concentración solar. Otras tecnologías, tales como la tecnología de torre de aire (energy tower), que aprovecha de manera indirecta la radiación solar, están en una etapa conceptual de desarrollo.

Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico. Las celdas fotovoltaicas se pueden utilizar en conexión con la red eléctrica, o bien en sitios aislados, por medio de sistemas que incluyen baterías.

¹¹ Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005.

Figura 3. Celdas Fotovoltaicas.



FUENTE: www.wikipedia.com.es

En las centrales de concentración solar, la radiación solar calienta un fluido, que a su vez mueve una máquina térmica y un generador eléctrico. El calentamiento del fluido se hace por lo general por medio de dispositivos ópticos que concentran la radiación solar, logrando altas temperaturas, del mismo modo en que con una lupa se puede quemar un pedazo de papel. Una de las versiones de esta tecnología consiste en espejos parabólicos que concentran la radiación solar en un tubo en el cual circula un fluido (véase la figura 4), mientras que en la otra versión un conjunto de espejos concentran la radiación en una torre denominada torre solar.

Las centrales de concentración solar tienen la ventaja adicional de que pueden permitir, mediante inversiones adicionales, almacenar la energía en forma de calor, de manera que es posible generar electricidad aún cuando no hay radiación solar. Ambas tecnologías, la fotovoltaica y la de concentración solar, se han desarrollado aceleradamente en los últimos años, alcanzando eficiencias de más de 15%.

Figura 4. Central solar de canal parabólico Kramer Junction, California.



FUENTE: SENER. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009.

Costos

Entre las distintas tecnologías para la generación de electricidad a partir de la radiación solar, las centrales de concentración solar tienen los menores costos de inversión, con aproximadamente US\$2,200/kW.¹² Los sistemas fotovoltaicos en conexión con la red cuestan US\$8,000/kW, y los sistemas fuera de red el doble.¹³ Los costos de la electricidad generada son todavía demasiado altos para poder ser competitivos con otras tecnologías: entre 12 y 18 US¢/kWh para centrales de concentración solar, entre 0.26US¢/kWh (Mx\$2.85) y 0.36 US¢/kWh (Mx\$3.94) para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México, suponiendo un costo de inversión de US\$7,490.90/kW (Mx\$82,400) y entre 40 y 60 US¢/kWh para sistemas rurales fotovoltaicos. Se espera, sin embargo, que estos costos disminuyan significativamente en el transcurso de los próximos lustros.

Estado Actual

De 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8,000 MWh/año para electrificación rural, bombeo de agua y refrigeración. Para sistemas termosolares, al 2003 se tenían instalados más de 570 mil metros cuadrados de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 kJ/m² y día, generando más de 270 GJ para calentar agua.¹⁴

En México, prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica, y muchos de ellos fueron instalados por medio de programas gubernamentales de electrificación rural. Se estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW y que generan en promedio 0.032 TJ/año.¹⁵

Gracias a nuevas regulaciones que hacen posibles las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica, ya existen en México algunos proyectos de este tipo, y hay interés de diversos actores por desarrollar más proyectos, en particular en Baja California. Sin embargo, la viabilidad económica depende fuertemente de los costos de inversión y la tarifa contra la cual el sistema compete.¹⁶

Por lo que se refiere a la tecnología de concentración solar, existen planes para la construcción de una instalación de este tipo en Agua Prieta, Sonora. Dicha instalación funcionaría en combinación con una central de ciclo combinado de gas natural.

12 Proyecciones para el año 2010 propuestas por el Banco Mundial, 2006. Cit. en Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 22.

13 Banco Mundial, 2008. Cit. en ídem.

14 Balance Nacional de Energía, www.anes.org, ANES 2005, México.

15 Balance Nacional de Energía 2007 Cit. En Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 23.

16 CONUEE/ GTZ, 2009 Cit. En ídem.

Potencial

La irradiación solar global en México es en promedio de 5 kWh/día/m², pero en algunas regiones del país se llega a valores de 6 kWh/día/m².¹⁷ Suponiendo una eficiencia del 15%, bastaría un cuadrado de 25 km de lado en el desierto de Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere hoy en día el país. Por ello, el potencial técnico se puede considerar prácticamente infinito.

El potencial económico y financiero, sin embargo, se limita a nichos específicos debido a los altos costos de las tecnologías. Para comunidades aisladas de la red eléctrica, el alto costo de extensión de la red implica que la tecnología fotovoltaica sea en la mayoría de los casos la más económica para satisfacer aplicaciones energéticas de alto valor y poco consumo de energía, tales como iluminación y aparatos electrónicos.

Por lo que se refiere a la generación de electricidad en conexión con la red eléctrica, existen nichos de mercado financieramente viables para consumidores residenciales de electricidad de una capacidad de al menos 700 MW.¹⁸

Figura 5. Planta híbrida San Juanico.



FUENTE: www.cfe.gob.mx.

La CFE cuenta con una planta híbrida en San Juanico, Baja California Sur, conformada por 17 kW fotovoltaicos, 100 kW eólicos y motogenerador diesel de 80 kW.

Proyecto de concentración solar Agua Prieta II:

El proyecto de concentración solar Agua Prieta II contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante la instalación de un sistema solar integrado de ciclo combinado (ISCCS) con tecnología de canales parabólicos solares. La capacidad neta del campo solar es de 10 MWT, estando el campo solar al 100% de carga integrado al ciclo combinado. El proyecto, conocido como Agua Prieta II, está planeado para ubicarse en el Estado de Sonora y contará con un donativo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, a través del Banco Mundial, por 49.35 millones de dólares.

¹⁷ Mulás et al., 2005. Cit. En Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 25.

¹⁸ CONUEE/ GTZ, 2009 Cit. En ídem. Pág. 26.

1.3.3 Energía Hidráulica.

Tecnología

La tecnología más usada en la actualidad para aprovechar la energía del movimiento del agua es la turbina hidráulica. Existen distintos tipos de turbinas; dependiendo de las características de cada sitio (por ejemplo, sitios con gran caída y bajo caudal, o de baja caída y gran caudal), se selecciona el tipo más adecuado. Las turbinas hidráulicas se utilizan por lo general para la generación de electricidad, aunque también pueden impulsar directamente maquinaria industrial. Además de las turbinas, existen otras tecnologías como las ruedas hidráulicas y las bombas de ariete, utilizadas para aplicaciones de pequeña escala tales como el bombeo de agua.

Las centrales hidroeléctricas constan, por lo general, de una presa que permite almacenar el agua de una estación a otra. Sin embargo, existen también pequeñas centrales hidroeléctricas sin presa, denominadas “al hilo del agua”, que aprovechan en cada momento el caudal disponible. Las grandes presas generan beneficios indudables para los sistemas eléctricos, además de otros beneficios como el riego y el control de inundaciones. Sin embargo, también producen diversos impactos ambientales y sociales.

Figura 6. Pequeña central hidroeléctrica de Las Trojes (8 MW).



FUENTE: SENER. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009.

Costos

Las centrales hidroeléctricas tienen costos relativamente bajos y compiten favorablemente con las tecnologías de energías no renovables. Aunque los costos de inversión varían mucho de un sitio a otro, un valor promedio es US\$2,100/kW,¹⁹ mientras que el costo de la electricidad generada es típicamente de entre 3 y 4 US¢/kWh.²⁰

¹⁹ Banco Mundial, 2006. Cit. En Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 30.

²⁰ REN21, 2008 Cit. En ídem.

Estado Actual

En México la capacidad hidroeléctrica instalada es de 11.4 GW, de los cuales aproximadamente 300 MW corresponden a pequeñas centrales de las empresas públicas, y 90 MW a centrales privadas de autoabastecimiento. La generación es de 27,300 GWh/año.²¹ La Prospectiva del Sector Eléctrico contempla la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas con una capacidad de 1,224 MW en el transcurso de los próximos 10 años.

Potencial

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha identificado el potencial hidroeléctrico del país en aquellos sitios con una potencia media mayor de 5 MW. Excluyendo las centrales en operación y en planeación, el potencial identificado es de 39 GW.²² Este potencial es meramente indicativo, pues falta definir la factibilidad técnica, económica, ambiental y social para muchos de estos proyectos. Se puede suponer sin embargo que por lo menos el 25% de este potencial sea factible.

Existe además un potencial importante en centrales de menor tamaño, pero, con la excepción de un estudio realizado en una región de los estados de Puebla y Veracruz,²³ este potencial no se ha evaluado. De manera muy preliminar se ha estimado que el potencial nacional para pequeñas hidroeléctricas es de alrededor de 3 GW.²⁴ Al igual que para el caso de la energía eólica, en la medida en que se reconozcan los distintos beneficios de las pequeñas centrales hidroeléctricas, incluyendo su impacto en la mitigación del cambio climático, este potencial será económica y financieramente factible. Existe también un potencial no identificado para la construcción de micro-centrales hidroeléctricas para abastecer de electricidad a comunidades aisladas de la red eléctrica, así como para satisfacer otros servicios energéticos como el bombeo de agua por bombas de ariete.

Figura 7. Chilatán.



FUENTE: www.comexhidro.com

Proyectos en Operación y en Desarrollo

Comexhidro es una empresa dedicada al aprovechamiento energético de presas de riego agrícola ya existentes. Inauguró en el 2003 su primer proyecto, "Las Trojes", en el estado de Colima, una hidroeléctrica de 8 MW de capacidad. En el 2005 entró en operación la hidroeléctrica "Chilatán", ubicada en el estado de Michoacán, con una capacidad de 14 MW. La empresa cuenta con el primer proyecto en ER en América Latina que obtiene los incentivos adicionales provenientes de los bonos de carbono. Además está aprovechando la nueva regulación sobre interconexiones para fuentes intermitentes.

21 Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017. Cit. En Ídem.

22 REN21, 2009 Cit. En Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 31.

23 CONAE, 1995. Cit. En ídem.

24 Mulás et al., 2005. Cit. En ídem.

1.3.4 Bioenergía.

Tecnología

Utiliza materia orgánica como energético, por combustión directa o mediante su conversión en combustibles gaseosos como el biogás o líquidos como bioetanol o biodiesel. La bioenergía en sus distintas formas se puede aprovechar en aplicaciones térmicas, para la generación de electricidad o para la producción de biocombustibles líquidos para transporte.

La biomasa se utiliza además en varias aplicaciones industriales: la energía contenida en productos de biomasa o derivados de la biomasa tales como el bagazo de caña, el licor negro, el biogás y distintos residuos agrícolas y agroindustriales son utilizados en industrias por medio de calderas y otras tecnologías para la producción de calor y, en algunos casos, electricidad.

Finalmente, la biomasa se utiliza para producir biocombustibles en varios países encabezados por Brasil, Estados Unidos y Alemania. Los principales biocombustibles son el bioetanol (alcohol etílico) y el biodiesel. Ambos se pueden mezclar en proporciones pequeñas (de menos del 10%) con gasolina y diesel, respectivamente, sin necesidad de hacer adaptaciones en los motores de vehículos modernos. El bioetanol se puede producir a partir de cultivos de azúcar (como la caña, la remolacha y el sorgo dulce), cultivos feculentos (como el maíz y la yuca) y materiales celulósicos. El biodiesel, por su parte, se elabora a partir de diferentes especies oleaginosas.

Costos

Las tecnologías para la generación de electricidad y/o calor a escala industrial a partir de la biomasa tienen un costo aproximado de US\$1,500/kW. Los costos correspondientes de la energía son de entre 5 y 12 US¢/kWh para la electricidad, y de entre 1 y 5 US¢/kWh para el calor.²⁵ Finalmente, las plantas de producción de bioetanol y de biodiesel requieren respectivamente de inversiones de US\$390 y \$330 por cada m³ al año de capacidad. Los costos de producción varían mucho de acuerdo con las circunstancias locales, pero las referencias internacionales sugieren valores de entre 25 y 30 US¢/litro para el bioetanol, y de entre 40 y 80 US¢/litro para el biodiesel.²⁶

Estado Actual

En México el bagazo de caña es, después de la leña, la principal fuente de bioenergía, que se utiliza en ingenios azucareros para la producción de calor y de electricidad para consumo del propio ingenio. Se estima que se aprovechan 100 PJ de bagazo al año, equivalentes al 1.2% de la oferta interna bruta de energía.²⁷

25 Banco Mundial, 2006. Cit. en Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 34.

26 REN21, 2008. Cit. En ídem.

27 Balance Nacional de Energía 2007. Cit en ídem.

Actualmente, la bioenergía representa el 8% del consumo de energía primaria en México. Los principales bioenergéticos empleados son el bagazo de caña (usado para la generación eléctrica y/o térmica en la industria azucarera) y la leña (fundamentalmente usada para calefacción y cocción de alimentos). En 2004 se consumieron 92 PJ de bagazo de caña y 250 de leña.²⁸ México produce al año en la industria cañera, 45 millones de litros de bioetanol ²⁹ que actualmente no se usan como combustible sino en la industria química. Al 2005 la CRE autorizó 19 MW para generar 120 GWh/año con biogás, 70 MW para generar 105 GWh/año con bagazo de caña y 224 MW para generar 391 GWh/año con sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña).

Potencial

El potencial de la bioenergía en México va mucho más allá del limitado aprovechamiento que se hace de ella en la actualidad. El potencial se divide en combustibles de madera (provenientes de bosques naturales o de plantaciones, o subproductos de la extracción forestal y la industria maderera), agrocombustibles y biogás de rellenos sanitarios. A partir de este potencial, sería posible, de manera sustentable, generar aproximadamente 50,000 GWh de electricidad al año a partir de madera en pequeñas centrales eléctricas (20% de la demanda nacional de electricidad).

El potencial técnico de la bioenergía en México se estima entre 2,635 y 3,771 PJ al año, sin embargo, su uso actual es 10 veces menor.³⁰ Del potencial estimado, un 40% proviene de los combustibles de madera, 26% de los agro-combustibles y 0.6% de los subproductos de origen municipal. Se estiman además 73 millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales con potencial energético, y aprovechando los residuos sólidos municipales de las 10 principales ciudades³¹ para la generación de electricidad a partir de su transformación térmica, se podría instalar una capacidad de 803 MW y generar 4,507 MWh/año.³² Además, se cuenta con un área agrícola significativa, potencialmente apta para la producción de bioetanol y biodiesel.³³

28 Sistema de Información Energética: sie.energia.gob.mx/sie/bdiController, SENER 2005, México.

29 Calatayud, Liliانا y Jácome, Sergio, 2003, México.

30 Libro Blanco de la Bioenergía en México, Red Mexicana de Bioenergía 2005, México.

31 Ciudad de México, Guadalajara, Puebla, Nezahualcoyotl, Tijuana, Ecatepec, Mérida, Acapulco, Ciudad Juárez, y Tlalnepantla.

32 www.wheelabratortechnologies.com/WTI/CEP/nbroward.asp.

33 Libro Blanco de la Bioenergía En México, Red Mexicana de Bioenergía 2005, México.

El Proyecto de Bioenergía de Nuevo León S.A. en Monterrey, aprovecha el biogás liberado por un relleno sanitario para generar energía eléctrica. El proyecto se desarrolló con un apoyo parcial del GEF, a través del Banco Mundial. Los cambios regulatorios y legales en los que está trabajando México permitirán replicar este proyecto en otros rellenos sanitarios del país. La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) ofrece apoyo para este tipo de proyectos, desde el diseño de rellenos sanitarios, hasta la generación de energía eléctrica. Actualmente cuenta con una cartera de 4 proyectos con estudios de preinversión, y colabora en el desarrollo de otros 6.

El Grupo Energéticos S.A., en colaboración con el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), firmaron un convenio de colaboración para producir biodiesel a partir de grasa animal de desecho de rastros. En julio del 2005, en Nuevo León, se inauguró la planta con una inversión de 1.5 millones de dólares (capacidad de producción inicial de 500 mil litros por mes). El biodiesel se usa como combustible en medios de transporte, en una primera etapa, para camiones industriales en el norte de México. La visión a futuro es comercializar el producto en la Ciudad de Monterrey, ya que la planta tiene un potencial de producción de 1 millón de litros por mes.

1.3.5 Energía Geotérmica.

Tecnología

La geotermia o calor de la corteza terrestre se puede utilizar para generar electricidad o bien para aplicaciones térmicas como calefacción de interiores, balnearios y procesos industriales o agroindustriales. Existen cinco tipos de recursos geotérmicos, y cada uno está asociado con tecnologías específicas para su aprovechamiento: (a) hidrotermales, (b) roca seca caliente, (c) geopresurizados, (d) marinos y (e) magmáticos.³⁴ Los primeros son los que se explotan actualmente en México y en otros países, mientras que los otros cuatro se encuentran en proceso de investigación y desarrollo.

Los recursos hidrotermales se dividen a su vez en recursos de alta entalpía ($T > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) y de baja entalpía ($T < 200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Los primeros se pueden utilizar para la generación de electricidad, mientras que los segundos se utilizan normalmente sólo para aplicaciones térmicas.

Costos

La geotermia requiere de altos costos de inversión en exploración, perforación de pozos y en la construcción de la central propiamente dicha. Los costos de inversión son de aproximadamente US\$3,800/kW, y los costos de la electricidad generada de entre 4 y 7 US¢/kWh. Por lo que se refiere a las aplicaciones térmicas de los recursos geotérmicos, sus costos son menores, de entre 0.5 y 2 US¢/kWh.³⁵ Estos costos son competitivos con otras opciones.

34 Mulás et al., 2005. Cit. En Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 36.

35 Banco Mundial, 2006 Cit. En ídem. Pág. 37.

Estado Actual

La capacidad de generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos en el Mundo es de poco más de 10 GW.³⁶ Nuestro país cuenta con aproximadamente la décima parte de esta capacidad - 960 MW – y ocupa el tercer lugar mundial. La Prospectiva del Sector Eléctrico contempla la instalación de 233 MW adicionales en el transcurso de los próximos diez años.³⁷ Por lo que se refiere a las aplicaciones térmicas, actualmente se concentran mayormente en balnearios de aguas termales, aunque se reportan casos aislados de calefacción de edificios, secado de madera, invernaderos y cultivo de hongos.³⁸

Potencial

Debido al alto costo de la exploración geotérmica, no se ha realizado una evaluación minuciosa del potencial geotérmico en nuestro país. Se han hecho, sin embargo, algunas estimaciones. Por lo que se refiere a las reservas de alta temperatura (aptas para la generación de electricidad), se ha estimado un potencial de alrededor de 12 GW eléctricos.³⁹ Las reservas de baja temperatura son mucho más cuantiosas (un estudio, por ejemplo, sugiere una cifra de 45 GWe⁴⁰ sumando el potencial de dos regiones en el Centro y Norte del país), lo que implicaría que en estas regiones sería posible aprovechar este potencial prácticamente ilimitado para aplicaciones industriales y residenciales. En suma, el potencial técnico y económico de las aplicaciones eléctrica y térmica no se ha evaluado de manera específica.

Figura 8. Planta Geotérmica: Los Azufres, Michoacán.



FUENTE: SENER. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009.

36 REN21, 2009. Cit. En Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México. Pág. 37.

37 Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017. Cit. En ídem.

38 Mulás et al., 2005. Cit. En ídem.

39 Mercado (1976) y Alonso (1985). Cit. En ídem.

40 Mercado et al., 1985. Cit. En ídem.

Tabla 3. Proyectos geotérmicos en etapa de factibilidad de la Cartera del Sector Energía.

Central	Capacidad [MW]	Generación GWh/año
Cerro Prieto V. Baja California	100	813.2
Cerritos Colorados 1ª etapa, Jalisco	26.9	207.1
Cerritos Colorados 2ª etapa, Jalisco	26.9	414.1
Los Humeros II, Puebla	25	207.1
Los Humeros III, Puebla	55.0	207.1
Total	220.0	1,656.3

FUENTE: Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005.

1.3.6 Energía oceánica.

La verdad sea dicha, esta forma de energía casi no es explotada en nuestro país, se incluye en este tema de manera meramente ilustrativa para el lector.

Tecnología

Básicamente, hay tres formas de captar la energía oceánica: aprovechamiento del movimiento de las olas, de la marea alta y baja, y la diferencia de temperatura en las diferentes profundidades del mar.

Energía mareomotriz

La energía mareomotriz se debe como su nombre lo indica a las mareas ocasionadas por la fuerza de atracción gravitatoria. La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del Sol sobre las masas de agua de los mares.

Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable limpia. La relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía.

La central mareomotriz de Rance

En Francia, en el estuario del río Rance, se instaló una central eléctrica mareomotriz, que funcionó durante varias décadas, produciendo electricidad para cubrir las necesidades de una ciudad como Rennes. El coste del KWh resultó similar o más barato que el de una central eléctrica convencional, sin el coste de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera ni consumo de combustibles fósiles.

Los problemas medioambientales fueron bastante graves, como aterramiento del río, cambios de salinidad en el estuario y cambio del ecosistema antes y después de las instalaciones.

Otros proyectos similares, como el de una central mucho mayor prevista en Francia en la zona del Mont Saint Michel, o el de la Bahía de Fundy en Canadá, donde se dan hasta 10 metros de diferencia de marea, o el del estuario del río Severn, en el reino Unido, entre Gales e Inglaterra, no han llegado a ejecutarse por el riesgo de un fuerte impacto medioambiental.

Figura 9. Central mareomotriz de Rance.



FUENTE: www.wikipedia.com.es

En México existe un potencial mareomotriz todavía sin evaluar, aunque en nuestro país se encuentra en el norte del golfo de Baja California, entre la costa y la Isla de San Lorenzo, se forma un canal marítimo con fuerte corriente en una sola dirección llamado “Salsipuedes”, donde tal vez se pudieran instalar turbinas para generar electricidad.

Esta energía se trató de aprovechar en México mediante un dispositivo experimental denominado Sistema de Bombeo por Energía de Oleaje (SIBEO), el cual tiene una elevada eficiencia desde el punto de vista del costo beneficio. El objetivo de este sistema es sanear las aguas de los puertos y de las lagunas costeras de los desechos orgánicos y algunas sustancias químicas, aprovechando el movimiento de las olas del mar.

Energía undimotriz

Otra forma de utilizar las olas es con un pistón, que sube y baja dentro de un cilindro con cada movimiento de las olas. El pistón se encarga de hacer girar el generador.

Hasta ahora, la mayor parte de los sistemas para generar energía con las olas marinas son muy pequeños, pero pueden ser usados, por ejemplo, para auxiliar en la iluminación de una casa o para boyas de advertencia en el mar.

Energía térmica de los océanos

La tercera forma de aprovechar la energía de los océanos es mediante la conversión de la energía térmica de las aguas marítimas. Debido a la diferencia de temperaturas entre el fondo y la superficie del mar. Esto se debe a que agua absorbe una parte del calor del sol y el resto es reflejado. Las aguas profundas del mar son frías y su temperatura disminuye a medida que es mayor la profundidad.

La conversión de la energía térmica oceánica tiene que ver con la explotación de las diferencias de temperatura entre el agua templada de la superficie y las aguas profundas más frías. En las latitudes tropicales y a una profundidad de mil metros, esa diferencia puede llegar a 20 °C, lo cual puede utilizarse para generar electricidad al evaporar y condensar, en forma alterna un fluido de trabajo. El vapor producido mueve una turbina acoplada a un generador de electricidad.

Figura 10. Boya Undimotriz.



Fuente: <http://www.oceanpowertechologies.com>

México posee aguas aptas para este tipo de aprovechamiento de energía por ejemplo las costas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Existen algunas plantas experimentales en Japón y Hawai que utilizan la diferencia de temperatura de las aguas oceánicas para generar energía eléctrica.

De la revisión efectuada a lo largo de este estudio somero de las energías renovables, se puede concluir que México tiene un alto potencial para el aprovechamiento estas energías, pero es marginal su aplicación en el sistema energético mexicano. Se logra percibir además, que a últimas fechas muchas industrias y sociedades se denominan autoabastecidas, o permissionadas produciendo así una gran parte de la energía consumida en el país. Por último, un aspecto de las energías renovables que no se menciona es su cualidad de intermitencia utilizando los mecanismos y tecnologías actuales, lo que disminuye su atractivo para su pleno desarrollo.

También se puede observar que existe una amplia confianza por parte del gobierno en la producción de energía eléctrica mediante hidrocarburos y últimamente mediante gas natural, dependiendo así de la volatilidad de los precios de este combustible y consumiendo el de extracción propia para el consumo nacional de energía. Actualmente el programa de expansión eléctrica considera que ésta debe darse primordialmente a través de centrales cuya operación esté basada en el uso de gas natural dado que esto minimizaba los costos de inversión y operación. Sin embargo la alta volatilidad reciente de los precios del gas hace cuestionable esta propuesta y da pauta a que se revisen otras opciones, entre ellas la nuclear.

1.13 Principios básicos de la energía nuclear.

La energía nuclear es aquella que resulta del aprovechamiento de la capacidad que tienen algunos isótopos de ciertos elementos químicos para experimentar reacciones nucleares y emitir energía en la transformación.

Una reacción nuclear consiste en la modificación de la composición del núcleo atómico de un elemento, que muta y pasa a ser otro elemento como consecuencia del proceso. Este proceso se da espontáneamente entre algunos elementos y en ocasiones puede provocarse mediante técnicas como el bombardeo neutrónico u otras.

Existen dos formas de aprovechar la energía nuclear para convertirla en calor: la fisión nuclear, en la que un núcleo atómico se subdivide en dos o más grupos de partículas, y la fusión nuclear, en la que al menos dos núcleos atómicos se unen para dar lugar a otro diferente.

1.13.1 Energía de fusión.

Es el proceso mediante el cual dos núcleos atómicos se unen para formar uno de mayor peso atómico. El nuevo núcleo tiene una masa inferior a la suma de las masas de los dos núcleos que se han fusionado para formarlo. Esta diferencia de masa es liberada en forma de energía. La energía que se libera varía en función de los núcleos que se unen y del producto de la reacción. La cantidad de energía liberada corresponde a la fórmula $E = mc^2$ donde m es la diferencia de masa observada en el sistema entre antes y después de la fusión y "c" es la velocidad de la luz (300,000 km/s).⁴¹

Los núcleos atómicos tienden a repelerse debido a que están cargados positivamente. Esto hace que la fusión sólo pueda darse en condiciones de temperatura y presión muy elevadas que permitan compensar la fuerza de repulsión. La temperatura elevada hace que aumente la agitación térmica de los núcleos y esto los puede llevar a fusionarse. Para que esto ocurra son necesarias temperaturas del orden de millones de grados. El mismo efecto se puede producir si la presión sobre los núcleos es muy grande, obligándolos a estar muy próximos.

La reacción de fusión más sencilla (esto es, la que requiere menos energía) es la del Deuterio (H^2) y el Tritio (H^3) formando Helio. Al contrario que la fisión nuclear, no se ha logrado utilizar la fusión nuclear como medio rentable de obtener energía (o sea, la energía aplicada al proceso es mayor que la obtenida por la fusión), aunque hay numerosas investigaciones en esa dirección.

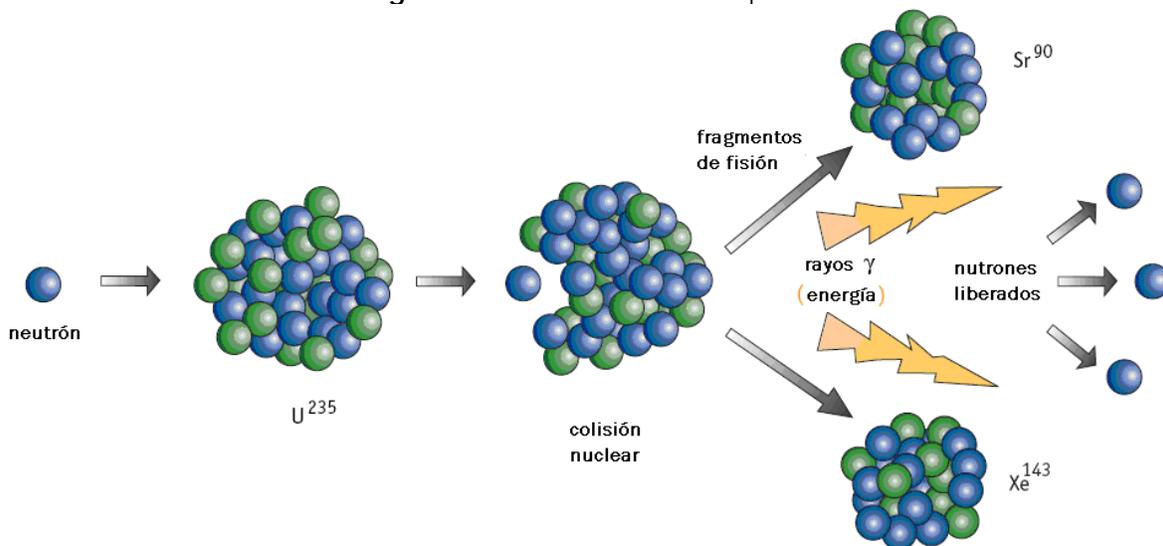
⁴¹ Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 13.

Hasta el momento, la fusión nuclear controlada es utilizada sólo en la investigación de futuros reactores de fusión aunque aún no se han logrado reacciones de fusión que sirvan para generar energía de forma útil.

1.13.2 Energía de fisión.

Ciertos elementos pesados naturales y hechos por el hombre, por ejemplo el uranio y el plutonio, son relativamente inestables. Cuando el núcleo de alguno de estos elementos es impactado por un neutrón que es absorbido, este puede fisionarse o separarse en dos fragmentos, liberando a la vez dos o tres neutrones y energía (ver Figura 11)

Figura 11. Una fisión nuclear típica.



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today, 2003.

Después del impacto original los fragmentos de fisión son expulsados, y comienzan a colisionar con los átomos cercanos, después de un instante pierden la mayoría de su energía de movimiento, la cual es convertida en energía calorífica. Este calor es usado a su vez para generar electricidad.

Cuando los neutrones libres, que también son liberados como resultado de la fisión, son absorbidos por otros átomos fisionables cercanos, estos también pueden ser fisionados y liberar a su vez más neutrones, los cuales producen más reacciones y así sucesivamente en lo que es conocido como *reacción en cadena*.

Un moderador es usado para frenar a los neutrones liberados durante la fisión.

Cuando el núcleo de un átomo captura un neutrón y no se fisiona, éste puede cambiar a otro elemento. En una reacción nuclear, esto resulta en la creación de un importante paquete de elementos de larga vida los cuales no se presentan en la naturaleza, o son muy raros, (Ver tabla 4).

Tabla 4. Isótopos importantes formados por la captura de neutrones en un reactor nuclear.

Elemento	Vida media aproximada
Neptunio (Np ²³⁷)	210 000 años
Plutonio (Pu ²³⁹)	24 000 años
<i>Americio (Am²⁴³)</i>	7 400 años

FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today, 2003.

Todos los elementos listados en la tabla 4 son radioactivos, algunos, en particular el plutonio son capaces de ser usados como combustible nuclear. Debido a su larga vida media y a su alta toxicidad radiológica y biológica, éstos son un componente importante en el desperdicio nuclear y son la razón por la cual algunos desechos deben ser aislados por periodos muy largos.

La fisión nuclear es una fuente extremadamente potente de energía con una muy alta densidad de energía. Comparada con reacciones químicas como la combustión de combustibles fósiles, las reacciones de fisión requieren un volumen mucho menor de material básico para producir una cantidad equivalente de energía. La energía liberada por la fisión de un kilogramo de uranio en un reactor típico es equivalente a la liberada por cerca de 45,000 kg de madera, 22,000 kg de carbón, 15,000 kg de petróleo y 14,000 kg de gas natural licuado.⁴²

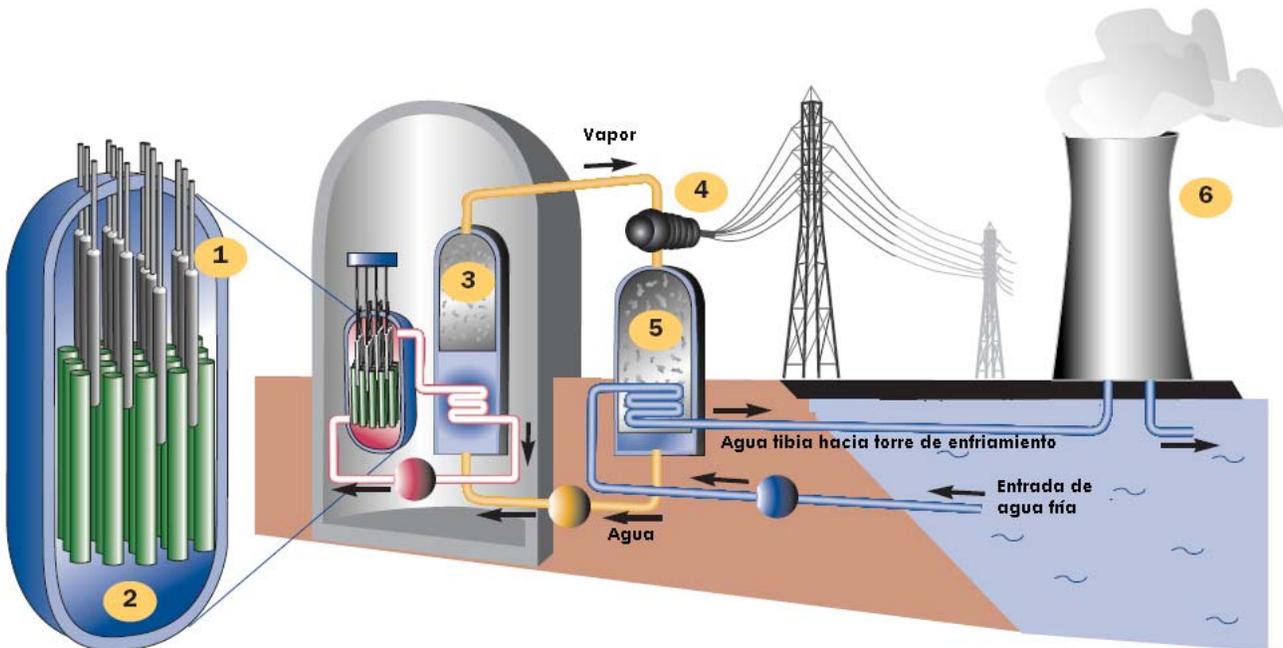
1.14 Componentes básicos de un reactor nuclear.

La tecnología básica para aprovechar la energía de una fisión nuclear es el reactor nuclear. Aunque existan varios tipos de reactores nucleares, todos tienen bastantes componentes en común, ya sea combustible, moderador, refrigerante o barra de control (vea figura 12)

Un reactor nuclear es, en esencia, simplemente una manera de producir calor para hervir agua, que a su vez produzca vapor para así hacer trabajar a las turbinas de los generadores que producirán electricidad.

⁴² Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today, 2003. Francia. Pág. 15.

Figura 12. Componentes básicos de un reactor nuclear (presurizado).



1. Reactor: El combustible (verde) calienta agua presurizada. Las barras de control (gris) absorben los neutrones para controlar o finalizar la fisión.
2. Refrigerante y moderador: El combustible y las barras de control están rodeados por agua que sirve como refrigerante y moderador.
3. Generador de vapor: Agua caliente del reactor es bombeada a través de un intercambiador de calor para generar vapor a alta presión.
4. Turbina generador: El vapor conduce al generador de electricidad a producir energía eléctrica.
5. Condensador: Remueve el calor para convertir al vapor en agua.
6. Torre de enfriamiento: Remueve el calor remanente para regresar el agua enfriada al ambiente.

FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

1.14.1 Combustible.

El combustible más importante es el uranio, el cual tiene dos isótopos importantes el U^{235} y U^{238} . El primero, es el único material fisionable encontrado en la naturaleza, puede ser fácilmente fisionado cuando es golpeado ya sea por neutrones rápidos o térmicos. Por lo que, casi todos los reactores lo usan como combustible.

Muchos de los combustibles comerciales para reactores son procesados para que contengan una concentración más alta de U^{235} de la que se presenta en la naturaleza, la cual oscila entre el 2 y 5% comparado con el 0.711%⁴³ del que se encuentra en la naturaleza, el combustible que sufre este proceso se dice haber sido enriquecido en U^{235} .

El remanente del combustible, U^{238} generalmente, puede fisionarse sólo cuando es golpeado por neutrones rápidos de ciertas energías, pero cuando la captura de un neutrón ocurre, este eventualmente se transforma en Plutonio 239 (Pu^{239}). Este isótopo del plutonio (uno de muchos), es también capaz de fisionarse bajo el impacto de neutrones rápidos o térmicos, y su contribución a la energía generada de un reactor de agua ligera gradualmente se incrementa hasta representar hasta el 30% de la potencia generada.⁴⁴ Algunos reactores utilizan combustible en el cual el plutonio es incorporado, llamado combustible oxido-mixto (o MOX). Esta es una manera de aprovechar el plutonio que se genera cuando se gasta el uranio como combustible.

1.14.2 Moderador.

Un moderador es necesario para frenar a los neutrones rápidos creados durante la fisión y regular así la ocurrencia de los choques, que causan la fisión. El moderador debe ser un material ligero que le permita a los neutrones frenarse sin ser capturados. Usualmente, el agua común es utilizada, algunas alternativas son el grafito, una forma de carbón, y el agua pesada (D_2O), la cual es agua formada con el más pesado isótopo del hidrógeno que es el deuterio.

1.14.3 Refrigerante.

Un refrigerante es necesario para absorber y remover el calor producido por la fisión nuclear y mantener la temperatura del combustible dentro de límites aceptables. Este puede también transferir el calor para hacer trabajar a la turbina y producir electricidad. Si se usa agua como refrigerante, el vapor producido puede ser alimentado directamente a las turbinas. Alternativamente puede hacerse pasar a través de un intercambiador de calor, el cual removerá el calor y producirá el vapor necesario.

Otros refrigerantes posibles son el agua pesada (D_2O), gases como el dióxido de carbono (CO_2) o el Helio (He), o materiales como el Sodio (Na) o Bismuto (Bi). Un refrigerante puede ser también un moderador; el agua es usada en este modo dual en la mayoría de los reactores modernos.

43 Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 16.

44 Ídem.

1.14.4 Barras de control.

Las barras de control están hechas de materiales que absorben neutrones, por ejemplo el Boro (**B**), la Plata (**Ag**), el Indio (**In**) y el Cadmio (**Cd**). Estas son introducidas dentro del reactor para reducir el número de neutrones y por lo tanto detener el proceso de fisión cuando es requerido, o, durante la operación, para controlar y regular el nivel y distribución espacial de la potencia en el reactor.

1.14.5 Otros componentes.

El combustible junto con la estructura mecánica que mantiene unido al reactor conforman el núcleo del reactor. Generalmente, un reflector de neutrones rodea al núcleo y sirve para regresar tantos neutrones como sean posibles que se hayan fugado del núcleo y así maximizar la eficiencia en su uso. A menudo, el refrigerante y/o moderador sirve como reflector.

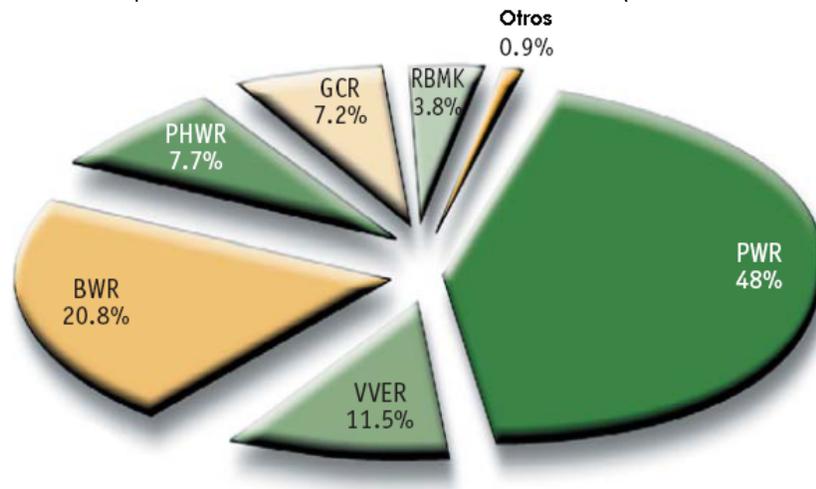
El núcleo y el reflector a menudo son protegidos por un contenedor de acero grueso llamado vasija de presión. La protección contra la radiación es proveída para reducir los altos niveles de radiación producidos por el proceso de fisión. Numerosos instrumentos son insertados dentro del núcleo y sistemas de soporte para permitir el monitoreo y control del reactor, por ejemplo, temperatura, presión, radiación y nivel de potencia.

1.15 Tecnologías de reactores.

Un método muy útil y popular de categorizar reactores es de acuerdo al refrigerante que utilizan. Cerca del 80% de los reactores comerciales en uso a principios del 2003 eran enfriados y moderados con agua ordinaria y son conocidos como reactores de agua ligera (*Light Water Reactor*) o (LWR's) por su nombre en inglés. De éstos, existen dos tipos: los reactores de agua presurizada (*Pressurized Water Reactor*, PWR), que incluyen una variante rusa (VVER), y los reactores de agua hirviente (*Boiling Water Reactor*, BWR). La mayoría del 20% restante de los reactores son enfriados ya sea por agua pesada o gas.⁴⁵ La gráfica 5 muestra los principales tipos de reactores nucleares comerciales en uso mundialmente.

⁴⁵ Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 17.

Gráfica 5. Tipos de reactor en uso mundialmente (a enero del 2003).



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003.

Cada uno de los reactores comerciales principales serán descritos a continuación. Dentro de cada tipo básico hay diferentes diseños resultado de diferentes tipos de manufactura y requerimientos del consumidor.

1.15.1 Reactor de agua presurizada (PWR).

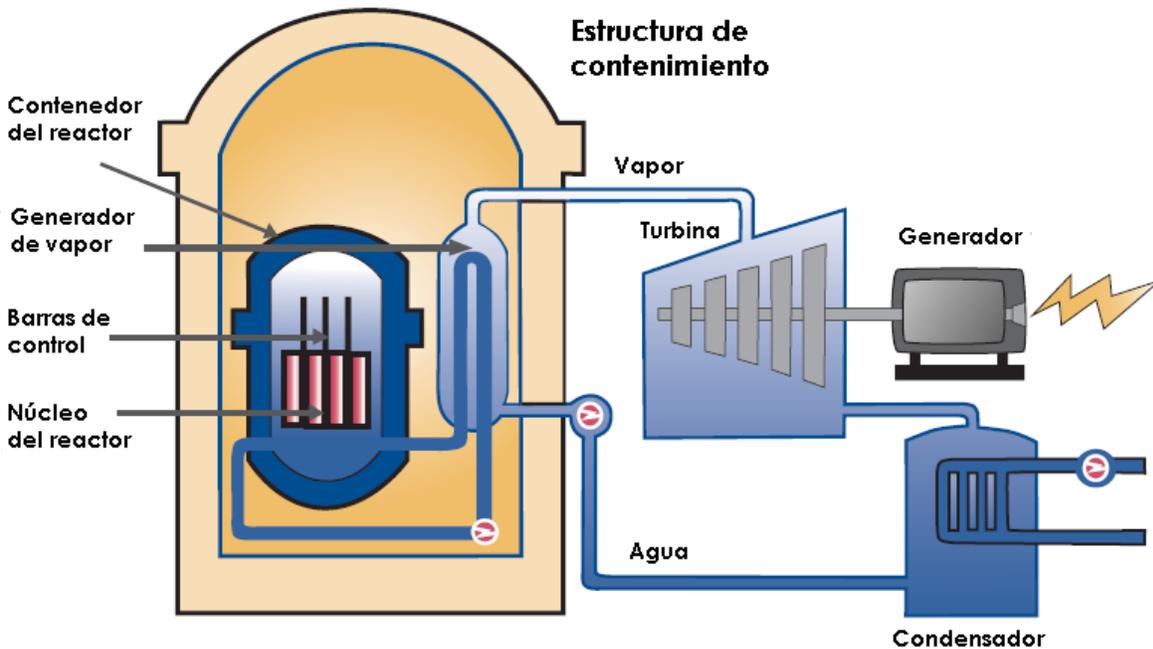
A principios del 2003, había 212 reactores tipo PWR en el mundo, de los cuales 150 se encontraban en Francia, Japón y los Estados Unidos.⁴⁶

Se utiliza agua ordinaria como refrigerante y moderador, El refrigerante se mantiene a alta presión (cerca de los 15.5 MPa o 2,250 psi)⁴⁷ para mantenerlo líquido durante la operación, retenido dentro de una frontera de presión comprimido principalmente por el contenedor del reactor y el sistema de tuberías en el sistema primario. El refrigerante es forzado a circular mediante potentes bombas para que el calor sea transferido al agua hirviendo en un circuito secundario conectado a un generador de vapor. De esta manera el vapor producido mueve la turbina de los generadores produciendo electricidad. (Ver figura 13)

⁴⁶ Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 18.

⁴⁷ Idem.

Figura 13. Un reactor de agua presurizada (PWR).



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

1.15.2 Los reactores VVER.

Un total de 50 reactores tipo VVER están en operación, de los cuales 26 se encuentran en la Federación Rusa y Ucrania. También se encuentran operando en Armenia, Bulgaria, la República Checa, Finlandia, Hungría y la República Eslovaca.⁴⁸ Su nombre es un acrónimo ruso de Reactor Moderado con Agua, los reactores VVER son, en esencia, reactores PWR de diseño ruso. La primera generación de estos reactores (tipo 440/230) necesitan modificaciones especiales porque sus diseños originales no corresponden a prácticas contemporáneas en seguridad nuclear.

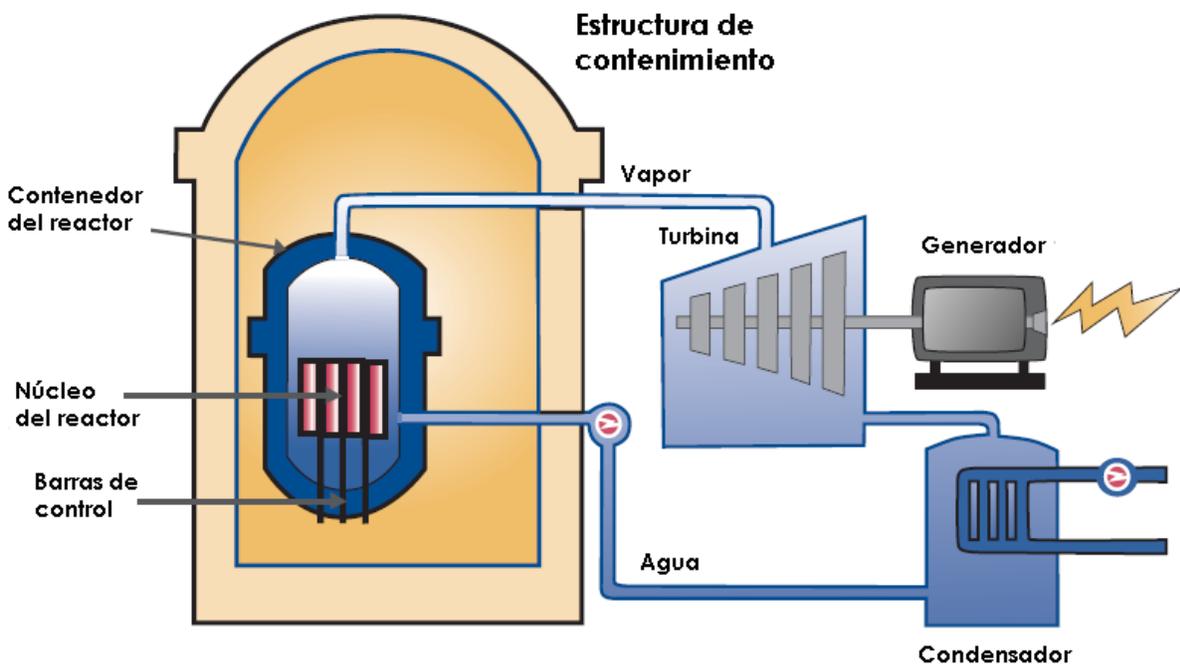
Como resultado, se han tomado decisiones para desmantelar algunas de estas unidades, como en Bulgaria y las República Eslovaca.

48 Ibidem 46.

1.15.3 Reactores de agua hirviente (BWR).

Hay 92 reactores tipo BWR operando en nueve países, de los cuales Japón y Estados Unidos cuentan con 64.⁴⁹ En un reactor tipo BWR, agua ordinaria actúa como refrigerante y moderador. El refrigerante se mantiene a una presión más baja que en un PWR (cerca de los 7MPa o 1,000 psi)⁵⁰ permitiendo que el refrigerante hierva mientras este recibe calor del reactor. El vapor resultante es forzado a pasar por una turbina conectada a un generador para producir electricidad (ver Figura 14). Mientras que la ausencia del generador de vapor simplifica el diseño, comparado con el diseño de los reactores PWR, la radioactividad contamina la turbina del generador.

Figura 14. Un reactor de agua hirviente (BWR).



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

1.15.4 Reactores presurizados de agua pesada (PHWR).

Existen 34 reactores operando alrededor del mundo en seis países, de los cuales 14 operan en su país de origen, Canadá, y el remanente en Argentina, India, Pakistán, la República de Corea y Rumania.⁵¹ Mejor conocidos como reactores CANDU (acrónimo de Canadian Deuterium Uranium), Estos reactores utilizan agua pesada (D_2O), como refrigerante y moderador.

49 Ibidem 46.

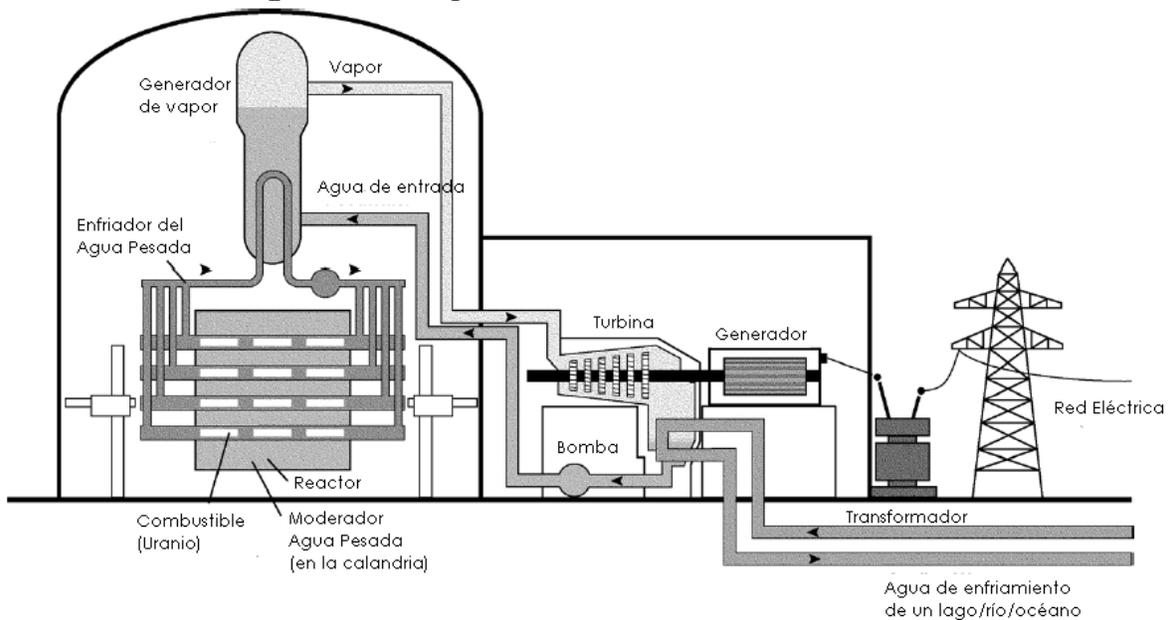
50 Idem.

51 Ídem.

El agua pesada permite que el uranio natural pueda ser usado como combustible, eliminando así la necesidad, y el costo, de enriquecer el uranio. Por otro lado, la producción de agua pesada requiere de una planta dedicada a separar el D₂O del agua ordinaria, aumentando la concentración de D₂O de su concentración natural que es mucho menor al 1%, para así incrementarla hasta el 99% que es usado en este tipo de reactores.

Como en un reactor PWR, el refrigerante se hace pasar a través de un generador de vapor para que así sirva para hervir agua ordinaria en un circuito aparte. Una ventaja del diseño de los reactores CANDU es que el reabastecimiento de combustible puede tomar lugar durante la operación, mientras que los PWR y los BWR deben ser apagados para reabastecerse de combustible. Esta ventaja permite una gran disponibilidad pero también incrementa la complejidad de la operación.

Figura 15. Vista general de una Planta Nuclear CANDU.



FUENTE: CANDU Owner's Group Inc. <http://www.candu.org/> 2010.

1.15.5 Reactores enfriados por gas (GCR).

En lo que respecta a reactores enfriados por gas, 33 operan en el Reino Unido.⁵² Hay dos tipos el Magnox (llamado así por la aleación de magnesio usado para revestir los elementos del combustible) y el reactor avanzado enfriado por gas el (AGR). Ambos utilizan el dióxido de carbono como refrigerante y el grafito como moderador.

⁵² Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 19.

El Magnox utiliza uranio natural como combustible y el AGR, uranio enriquecido. Como el reactor CANDU, estos diseños pueden ser reabastecidos de combustible mientras operan.

1.15.6 Reactor Hirviente de Potencia (RBMK).

Diecisiete reactores RBMK permanecen en operación de los cuales 15 se encuentran en la Federación Rusa y dos en Lituania.⁵³ El nombre es un acrónimo ruso que significa gran reactor hirviente de potencia. Se utiliza agua ordinaria como refrigerante y se utiliza grafito como moderador. Como con los reactores BWR, el refrigerante hierve mientras este pasa a través del reactor y el vapor resultante es echo pasar directamente por la turbina de los generadores.

El RBMK, es un diseño prematuro, fue construido y operado, sin las características de seguridad requeridas en otras partes. El bien conocido accidente de Chernobyl (Ucrania) en 1986 fue un accidente ocurrido a un reactor de este tipo.

Los reactores de este tipo son objeto de grandes medidas de seguridad debido a que no pueden ser mejorados para satisfacer las medidas de seguridad contemporáneas a un costo razonable.

1.15.7 Reactores rápidos de cría.

Los reactores descritos anteriormente son reactores térmicos, en los cuales la mayoría de la fisión es causada por los neutrones térmicos. Los reactores rápidos son diseñados para hacer uso de los neutrones rápidos, con mucha mayor energía cinética. Los reactores rápidos esencialmente crean más neutrones por fisión que un reactor termal y hacen un mejor uso de ellos porque la probabilidad de captura de un neutrón disminuye a mayor energía del mismo. Este exceso de neutrones puede ser aprovechado para convertir materiales fértiles, U^{238} y Th^{232} , a materiales fisibles a través de la captura de un neutrón. Este material fisible creado puede ser a su vez combustible del reactor. Es posible diseñar reactores que produzcan más combustible del que consumen por lo cual se dice que son *reactores de cría*.

Los reactores rápidos de cría al crear combustible de isótopos no fisibles y al mejorar la eficiencia a través del reciclaje, puede potencialmente incrementar la disponibilidad del combustible a nivel mundial y es por esto un elemento clave en la sustentabilidad de la energía nuclear a largo plazo. Los reactores de cría han sido construidos y operados en un número reducido de países, durante el 2002 sólo fueron operados en Francia, India, Japón y la Federación Rusa.

⁵³ Ibídem 52.

1.16 Vida útil de los reactores.

Algunos reactores de primera generación, como los reactores Magnox en el Reino Unido, están aún en servicio, después de 35 años o más, por lo que están a punto de llegar al final de sus vidas operacionales.

Muchos de los reactores de hoy en día fueron construidos en los años setentas y ochentas, por lo que alcanzarán vidas medias de 30 y 40 años alrededor del año 2015. A pesar de esto, estudios basados en la operación y la experiencia en materiales han revelado que no hay ningún problema tecnológico mayor inhibiendo la vida operacional para muchos de estos reactores, particularmente los reactores tipo PWR y los BWR. El monitoreo cuidadoso del rendimiento de una planta, el análisis de la experiencia en la operación, los programas de modernización y la restauración ofrecen buenas perspectivas para la extensión de la vida de muchas de estas plantas. Por ejemplo, en enero del 2003, las autoridades en la seguridad nuclear de los Estados Unidos han dado licencias de extensión a diez reactores para operar por 60 años, 20 años más de su vida operacional aprobada en primera instancia. Otros países como la Federación Rusa están planeando extender las vidas útiles de reactores existentes. En muchos países las decisiones acerca de las vidas medias de los reactores son hechas a través de renovaciones periódicas de licencias de operación, las cuales involucran análisis comprensivo de la seguridad usando los últimos métodos, información y requerimientos de seguridad.

1.17 La economía de la energía nuclear.

La industria núcleo eléctrica desde sus inicios, de 1954 a 1956 y durante unas tres décadas, mantuvo un desarrollo y crecimiento sostenido; sin embargo, a partir de 1986, tuvo un serio revés por causa del accidente de Chernobyl, que llevó a frenar totalmente su crecimiento en Europa Occidental y en Estados Unidos, incluyendo el cierre de centrales en ciertos países como Italia. Entre tanto, su expansión cobró gran impulso en los países asiáticos y de la cuenca del Pacífico Oriental, como Japón, Corea, China y Taiwán, India; así como de Europa Oriental, como Rusia, Ucrania, Bulgaria y Eslovaquia.

Al inicio del siglo XXI, se presenta un progresivo proceso de revalorización del potencial de la energía nuclear, en donde nuevos países se han sumado para implementar sus bases de desarrollo. Los factores técnicos y económicos que la impulsan son:

- a) Inestabilidad ante el alza de los precios de los hidrocarburos en general; y en particular, del gas natural en los Estados Unidos, Brasil y Argentina.
- b) Impactos negativos al medio ambiente por los gases de efecto invernadero (principalmente CO₂) por la quema de combustibles fósiles.

- c) El incremento de la demanda de electricidad por encima del crecimiento de la economía (PIB), en la gran mayoría de los países.
- d) El creciente interés y compra de centrales nucleares en operación por empresas privadas.
- e) Avances tecnológicos, mejoramiento en su operación y administración que propician elevar su factor de planta.
- f) El decremento acelerado de los costos de generación de las nuevas núcleo-eléctricas.
- g) Las iniciativas del congreso de los Estados Unidos para reiniciar la construcción de plantas nucleares.

Las actuales tecnologías de fisión nuclear de Generación III son resultado de los trabajos de investigación por compañías privadas, institutos de investigación, universidades y gobiernos. En algunos casos, se trabaja sobre tecnologías similares en versiones diferentes o en proyectos integrados por varios países.

Todas estas innovaciones se proyectan en seis características:

1. Mecanismos de alta seguridad y bajo riesgo de accidentes.
2. Competitividad económica por su menor inversión en la construcción, operación, mantenimiento y aumento de vida operativa a 60 años.
3. Empleo de materiales más resistentes, seguros y con transportación.
4. Alta seguridad en el manejo de combustibles y sus desechos.
5. Mayor eficiencia del reciclamiento de combustibles.
6. Incremento de la eficiencia de las plantas⁵⁴

Hacia el 2010, iniciarán su construcción diversos modelos de reactores de Generación III avanzados (Generación III +). Dentro de los más acogidos en el mercado europeo está el reactor EPR (*European Pressurized Water Reactor*) de 1750 MW, desarrollado por Francia y Alemania para actualizar sus plantas nucleoeleóctricas.⁵⁵ En los Estado Unidos, hacia el 2012, estarán en construcción unos 30 reactores, el de mayor demanda es el Westinghouse AP 1000 de 1100 MW con un costo de generación de 3.5 ¢US/kWh.⁵⁶

54 CNEA, 2002. Cit. En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (1a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 5.

55 IAEA, 2002; WNA, 2003. Cit. En Ídem.

56 FRAMATOME-ANP, 2003. Cit. En íbidem, Pág. 6.

En cuanto a las reservas mundiales de uranio convencional probadas, se estiman en categorías por el costo del concentrado, de menor o igual a 80 \$US/kg de U_3O_8 se tienen 3,107,000 toneladas y de menor o igual a 130 \$US/kg de U_3O_8 se cuenta con 3.933,000 t, distribuidas geográficamente en los cinco continentes. En el 2000, la producción fue de 36,112 t y la demanda de los 438 reactores nucleares comerciales fue de 64,014 t, la diferencia de 27,902 t se cubre de las reservas obtenidas del desarme nuclear.

Para el caso de México, en las estadísticas mundiales se aprecia que desde hace más de una década no figura entre los 38 países que reportan inversión en la explotación de yacimientos de uranio y en la adquisición de tecnología minera para su extracción.⁵⁷

Al año 2000, existieron 21 países con tecnología para producir combustibles nucleares en sus diferentes fases, que garantizan la estabilidad de su precio en el mercado.⁵⁸ Las grandes reservas de uranio y los avances tecnológicos llevan a que se tenga suficiente combustible nuclear para cubrir las necesidades de la humanidad por largo tiempo. La energía nuclear, suponiendo que usemos reactores de neutrones rápidos, durará por varios miles de años, es decir, mientras el sol esté en condiciones de mantener la vida en la Tierra.

1.18 El programa de energía atómica 2010 de los Estados Unidos.

Hacia finales del 2001, los Estados Unidos en respuesta al cambio de los escenarios del mercado de energéticos y de los avances tecnológicos, se decide por la energía nuclear como la mejor opción, que impulsa el mayor desarrollo económico en condiciones de sustentabilidad.⁵⁹

Su programa de Energía Atómica 2010 es un plan energético al 2030. Contempla la entrada en operación comercial a gran escala de los reactores nucleares avanzados de Generación III (Gen. III+) y de Generación IV. Se considera del 2010 al 2020 el ingreso a operación comercial de unos 50 reactores nucleares de generación III +; de 1000 MW ó su equivalente para cubrir 50,000 MW enfriados por agua ligera o vapor, adicionales a los 12,000 MW que se espera incrementar con las actuales plantas. Del año 2015 al 2025, la entrada comercial de reactores nucleares de IV generación que incluye modelos para producir hidrógeno a partir del agua. Finalmente, antes del 2030 se pretende garantizar un mínimo volumen de combustibles nucleares gastados y un menor tiempo de duración, como emisores peligrosos.⁶⁰

57 Uranium, 2000 y 2001. Cit. En Ídem.

58 WNA, 2000. Cit. En Ídem.

59 N EI, 2002c. Cit. En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (1a parte), UNAM, México, 2005. Pág.6.

60 U.S. Government, 2003; NEI, 2003ª y 2003b. Cit. En Ibídem, Pág. 7.

Para el desarrollo de los reactores de Generación IV se adicionaron varios países que cuentan con tecnologías del ciclo de combustible nuclear, por ser la principal línea de investigación del programa. En julio de 2001, Argentina, Brasil, Canadá, Francia, Japón, Corea del Sur, Sudáfrica, Reino Unido y Estados Unidos, firmaron una carta formal para identificar y desarrollar tecnologías de la Generación IV sobre una base multilateral.⁶¹

Por parte de América Latina participan Argentina y Brasil, que cuentan con desarrollo tecnológico avanzado en el campo industrial de explotación, producción, enriquecimiento, reconversión y tratamiento de combustible nuclear, con los que han obtenido sus propias patentes y la participación internacional. En este aspecto, México desde 1984, no cuenta con la infraestructura, experiencia, personal técnico y científico especializado en la industria del ciclo de combustibles nucleares; desde que decidió liquidar a su personal con el cierre de Uranio Mexicano (URAMEX). De esta forma, México se excluyó de un campo de desarrollo tecnológico y científico que incluye todas las ramas de desarrollo profesional, desaprovechando las oportunidades del mercado; asimismo debilitó sus posibilidades para participar en proyectos internacionales y de licitación de producción de combustibles nucleares para las nuevas tecnologías de reactores nucleares, por lo menos al nivel de Yellow Cake, que es la materia básica.

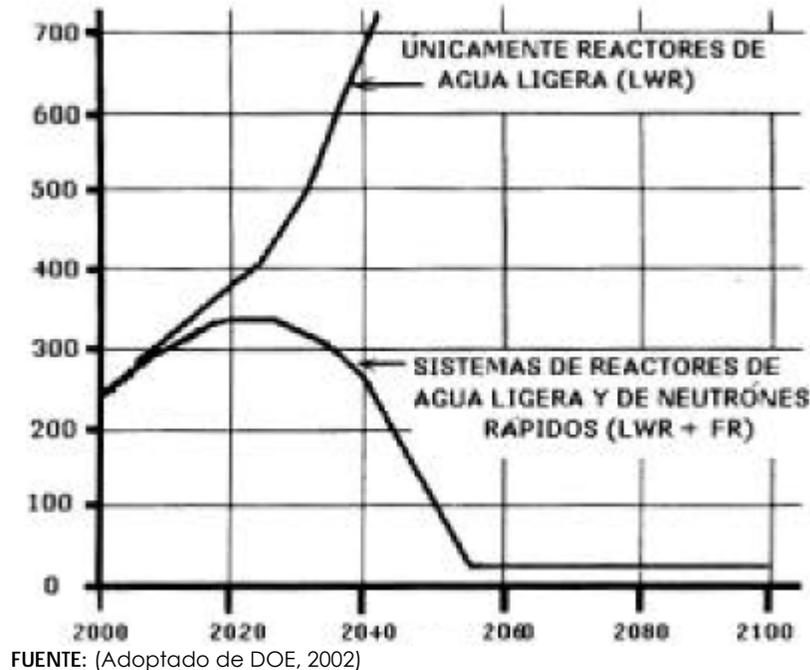
1.19 Disposición de los desechos radiactivos.

La mayoría de los países que cuentan con plantas nucleoelectricas, ocupan los combustibles nucleares una vez para su posterior confinamiento, dentro de las plantas, como es el caso de los Estados Unidos y México. Otros países como Francia, Inglaterra, Suiza y Japón, recuperan y procesan el uranio y el plutonio de los combustibles utilizados, lo utilizan para hacer nuevo combustible y transmutan los inaprovechables a otros de menor vida de toxicidad, reduciendo de esta forma el almacenamiento.

Los reactores nucleares de Generación IV que podrían entrar al mercado del 2015 al 2025, incluyen tres de sus seis modelos básicos, reactores comerciales de neutrones rápidos (*fast reactor*), diseñados para consumir el plutonio y uranio agotado y transmutar los tóxicos, producidos por otras centrales nucleares. De esta forma, se pretende resolver la principal preocupación del empleo de la generación nuclear concerniente a la proliferación y el volumen de residuos que esta industria produce.⁶¹

⁶¹ DOE, 2002b y 2003. Cit. En D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (1a parte), México, 2005, Pág. 7.

Gráfica 6. Decremento del combustible nuclear gastado, almacenado en el mundo al integrar sistemas de reactores rápidos y de agua ligera, proyección al 2100.



De esta manera se resolvería este tema de especial preocupación en los programas nucleares emprendidos por países interesados en este tema.

1.20 Aspectos importantes de la energía nuclear.

En resumen, La fisión nuclear del uranio es la principal aplicación práctica civil de la energía nuclear y se emplea en cientos de centrales nucleares en todo el mundo, en países como Francia, Japón, Estados Unidos, Alemania, Argentina, Brasil, Suecia, España, China, Rusia, Corea del Norte, México, Pakistán e India.

Tiene como principal ventaja que no utiliza combustibles fósiles, con lo que no emite a la atmósfera gases tóxicos o de efecto invernadero. Esto es importante en el momento actual debido al Protocolo de Kyoto que obliga a pagar una tasa por cada tonelada de CO₂ emitido (estrategia seguida para evitar el calentamiento global). Sin embargo, las emisiones contaminantes indirectas derivadas de la construcción de una central nuclear, la fabricación del combustible y la gestión posterior de los residuos radiactivos no son despreciables. Históricamente, las centrales nucleares fueron diseñadas con un uso militar, consiguiendo la fabricación del plutonio necesario para fabricar bombas de implosión como Fat-Man, la bomba atómica lanzada sobre Nagasaki. Más tarde se comprobó que el plutonio fisible generado podía ser utilizado a su vez como combustible de fisión, aumentando enormemente la eficiencia de las centrales nucleares y reduciendo así uno de los problemas de las mismas.

Como cualquier aplicación industrial humana, las aplicaciones nucleares generan residuos, algunos muy peligrosos. Sin embargo, los generan en volúmenes muy pequeños comparados con otras aplicaciones, como la industria petroquímica, y de forma muy controlada. Los residuos más peligrosos generados en la fisión nuclear son las barras de combustible, en las que se generan isótopos que pueden permanecer radiactivos a lo largo de miles de años. Los elementos transuránidos como el curio, el neptunio o el americio son los de mayor preocupación.

También se generan residuos de alta actividad que deben ser vigilados, pero que tienen vidas medias cortas, es decir, duran pocos años y pueden ser controlados. Existen, sin embargo, estrategias para tratar algunos de los residuos de forma más eficiente. Una de ellas se basa en el uso de centrales nucleares de nueva generación (Sistemas Asistidos por Aceleradores o ADS en inglés) usando torio como combustible adicional que degradan los desechos nucleares en un nuevo ciclo de fisión asistida y pasan como una alternativa viable para las necesidades energéticas de la población ante la dependencia del petróleo.

También existen métodos de aprovechamiento de algunos de los residuos peligrosos mediante el reciclado, separando los isótopos que pueden aprovecharse en aplicaciones médicas o industriales.

El tratamiento de los combustibles de fisión, en cualquier caso pasa por el almacenamiento de los residuos que no pudieran ser eliminados en cuevas profundas, los llamados almacenamientos geológicos profundos (AGP) donde el objetivo final es que queden enterrados con seguridad durante varios miles de años aunque esto no puede garantizarse. Otro problema asociado a los reactores de fisión es la susceptibilidad de ser objetivos de los terroristas, igual que lo pueden ser otras instalaciones que fabrican productos tóxicos. Sin embargo, estas instalaciones poseen niveles de seguridad más elevados que la mayoría del resto de instalaciones industriales.

1.20.1 Armas Nucleares.

Las bombas nucleares (bomba atómica) y termonucleares, se fundamentan en una reacción de fisión explosiva y se emplearon por primera vez en Hiroshima y Nagasaki, durante la Segunda Guerra Mundial. Después de la Segunda Guerra Mundial se desarrolló una segunda generación de bombas termonucleares, llamadas bombas de hidrógeno, más potentes y destructivas que las de fisión, que se fundamentan en reacciones de fusión de hidrógeno pesado activadas por una reacción de fisión previa (fecha de la primera detonación de una bomba de hidrógeno: 1 de noviembre de 1952).

Más tarde, a partir del año 1974, se construyeron las llamadas bombas de neutrones, con menor capacidad explosiva aunque con radiación intensiva de neutrones. Con esta generación de bombas nucleares se pretendía disponer de un arma capaz de matar o inhabilitar a las tropas enemigas, con sólo una destrucción limitada de las infraestructuras en el radio de acción de la bomba.

Una bomba desprende su energía de manera abrupta, creando una intensa concentración de calor; aún unos pocos kilogramos, de los cuales sólo una pequeña parte experimenta fisión, pueden destruir una ciudad. Tal desprendimiento repentino no se logra fácilmente. Tecnología bastante sofisticada es necesaria, de otra manera el calor desprendido inicialmente en la reacción en cadena de la fisión, esparce el combustible y detiene el proceso.

Un reactor nuclear nunca puede explotar como una bomba. Lo más que puede hacer es explotar como un calentador de vapor sin válvulas de seguridad, o más adecuadamente, su combustible se puede fundir convirtiéndose en escoria, como pasó en Three Mile Island. Los reactores con fallas ciertamente pueden ser peligrosos, dado que contienen productos de fisión intensamente radiactivos. Sin embargo, ellos no se pueden convertir en bombas nucleares.

La fisión rápida hace factibles a las bombas (así como reactores de "emisión más rápida", de los cuales Francia ha construido dos). Su reacción en cadena es amortiguada por el isótopo U^{238} , de manera que, contrario al combustible en una estación de energía, donde aún el uranio natural (0.7% de U^{235}) puede ser usado, el utilizado en una bomba debe ser altamente enriquecido en U^{235} . O de otra manera, el plutonio, elemento producido artificialmente, es utilizado, el cual se extrae como un subproducto de los reactores nucleares.

El enriquecimiento es un proceso difícil y costoso, usando centrifugadores de gas o grandes separadores magnéticos, o también usando grandes arreglos de difusión de gas. El plutonio, por otro lado, requiere sólo métodos químicos para separarlo de los productos de fisión altamente radiactivos encontrados en combustible de reactor ya utilizado. Debido a la radiación mortal, tal separación es siempre realizada a control remoto. La posibilidad de que se puedan construir bombas nucleares del plutonio extraído de plantas de energía comerciales ha sido la motivación principal de los esfuerzos internacionales para controlar el crecimiento de tecnología de energía nuclear.

Aún con el combustible purificado, no es fácil construir una bomba nuclear. Una "masa crítica" de combustible es necesaria, y debe ser ensamblada muy rápidamente, de hecho, comprimida a un volumen menor, para permitir que suficiente material de él reaccione antes de que su calor generado destruya todo.

La primera "bomba atómica" lanzada en Japón en 1945, era un cañón de armas modificado, en el cual un pedazo de U^{235} era disparado hacia otro pedazo. Las bombas de plutonio necesitan ser ensambladas aún más rápido y comprimidas aún más, de manera que una carga explosiva esférica haga implosión sobre una esfera de combustible en su centro. La tecnología para hacer esto involucra los secretos nucleares más celosamente controlados, y por supuesto una fuente de neutrones debe ser provista para iniciar la reacción en cadena durante el microsegundo crítico de mayor compresión.

De esta manera los peores temores que despierta la "Amenaza nuclear" pueden ser controlados de una forma disciplinada y con las más altas medidas de seguridad, que este proceso requiere.

1.20.2 Tratado de No Proliferación Nuclear.

El Tratado de No Proliferación Nuclear (NPT, *Nuclear Non-Proliferation Treaty*, en inglés) es un tratado abierto a la firma el 1 de julio de 1968 que restringe la posesión de armas nucleares. La gran mayoría de los estados soberanos (188) forman parte del tratado. Sólo a cinco estados parte se les permite en el tratado la posesión de armas nucleares: los Estados Unidos (firmante en 1968), el Reino Unido (1968), Francia (1992), la Unión Soviética (1968, sustituida en la actualidad por Rusia), y la República Popular de China (1992). La condición especial de estos cinco países, llamados Estados Nuclearmente Armados (NWS o *Nuclear Weapons States*) se definió a partir de que eran los únicos estados que habían detonado un ensayo nuclear hasta 1967. Ellos son también los cinco miembros permanentes del Consejo de Seguridad de Naciones Unidas.

Principales artículos.

El tratado constituye un sistema basado en tres pilares fundamentales: La no-proliferación, el desarme y el uso pacífico de la energía nuclear.

Por el artículo I, los Estados Nuclearmente Armados (NWS) se comprometen a no transferir tecnología nuclear ni tecnología sobre armas nucleares a otros países, ni tampoco a asistir en el desarrollo de tales armas, bajo ninguna circunstancia.

Por el artículo II los Estados No Nuclearmente Armados (NNWS) se comprometen a no tratar de desarrollar armas nucleares y por el artículo III a someterse al régimen de salvaguardias totales de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA ó *International Atomic Energy Agency*), el cuerpo regulador nuclear de Naciones Unidas.

El artículo VI rescata el derecho inalienable de todos los estados a desarrollar la energía nuclear para fines pacíficos y en concordancia con los artículos I y II.

El artículo VI y el preámbulo indican que los Estados Nuclearmente Armados se comprometen de buena fe a iniciar negociaciones para la reducción y liquidación de sus arsenales nucleares. Después de más de 30 años, esto ha quedado tan sólo en una promesa. En el artículo I, los Estados Nuclearmente Armados declaran que "no inducirán a ningún Estado No Nuclearmente Armado a adquirir armas nucleares". La doctrina del ataque preventivo así como otras posturas amenazantes pueden ser vistas como una inducción por las partes no nuclearizadas. El artículo X establece que cualquier estado puede retirarse del tratado si considera que existen "eventos extraordinarios", tales como una "percepción de amenaza", que les fuerzan a hacerlo así.⁶²

Cuadro 1. Estados firmantes del tratado.

Alemania	Colombia	Indonesia	Myanmar	Samoa
Afganistán	Comoras	Irán	Namibia	San Marino
Albania	Corea del Sur	Iraq	Nauru	Príncipe
Andorra	Costa de Marfil	Irlanda	Nepal	Senegal
Angola	Costa Rica	Islas Marshall	Nicaragua	Serbia y Montenegro
Antigua y Barbuda	Croacia	Islas Salomón	Níger	Seychelles
Arabia Saudí	Cuba	Islandia	Nigeria	Sierra Leona
Argelia	Dinamarca	Italia	Noruega	Singapur
Argentina	Dominica	Jamaica	Nueva Zelanda	Siría
Armenia	Ecuador	Japón	Omán	Somalia
Australia	Egipto	Jordania	Países Bajos	Sri Lanka
Austria	El Salvador	Kazajistán	Palau	Sudáfrica
Azerbaiyán	Emiratos Árabes Unidos	Kenya	Panamá	Sudán
Bahamas	Eritrea	Kiribati	Papúa Nueva Guinea	Suecia
Bahrain	Eslovaquia	Kirguistán	Paraguay	Suiza
Bangladesh	Eslovenia	Kuwait	Perú	Suriname
Barbados	España	Laos	Polonia	Swazilandia
Bélgica	Estados Federados de Micronesia	Lesotho	Portugal	Tailandia
Belice	Estados Unidos	Letonia	Qatar	Tanzania
Benín	Estonia	Líbano	Reino Unido	Tayikistán
Bielorrusia	Etiopía	Liberia	República Centrafricana	Timor Oriental
Bolivia	Fiji	Libia	República Checa	Togo
Bosnia-Herzegovina	Filipinas	Liechtenstein	República de Macedonia	Tonga
Botswana	Finlandia	Lituania	República del Congo	Túnez
Brasil	Francia	Luxemburgo	República Democrática del Congo	Turkmenistán
Brunéi	Gabón	Madagascar	República Dominicana	Turquía
Bulgaria	Gambia	Malasia	Ruanda	Tuvalu
Burkina Faso	Georgia	Malawi	Rumania	Ucrania
Burundi	Ghana	Maldívas	Rusia	Uganda
Bután	Grecia	Malí	San Cristóbal y Nieves	Uruguay
Cabo Verde	Granada	Malta		Uzbekistán
Camboya	Guatemala	Marruecos		Vanuatu
Camerún	Guayana Francesa	Mauricio		Vietnam
Canadá	Guinea	Mauritania		Venezuela
Ciudad del Vaticano	Guinea-Bissau	México		Yemen
Chad	Guinea Ecuatorial	Moldavia		Yibuti
Chile	Honduras	Mónaco		Zambia
China	Hungría	Mongolia		Zimbabwe
Chipre		Mozambique		

FUENTE: No-proliferación para la seguridad global. 2010

62 No-proliferación para la seguridad global. <http://npsglobal.org/> consultada el 28 de Marzo del 2010.

Los cinco Estados Nuclearmente Armados han hecho promesa de no utilizar armas nucleares contra Estados No Nuclearmente Armados, salvo en respuesta a un ataque nuclear o un ataque con armas convencionales en alianza con un Estado Nuclearmente Armado. De cualquier forma, estas promesas no han sido formalmente incorporadas al Tratado, y los detalles concretos han cambiado con el tiempo.

Estados fuera del tratado.

Cuatro estados, India, Pakistán, Israel y Corea del Norte se encuentran fuera del tratado, los tres primeros nunca lo han firmado, mientras que Corea del Norte renunció en 2003. India, Pakistán e Israel poseen armas nucleares y, tal cual el texto actual, de acceder al tratado deberían hacerlo como los Estados No Nuclearmente Armados (NNWS), por lo cual deberían desmantelar sus arsenales. Estos países argumentan que el Tratado de No Proliferación crea de hecho un club de países "Nuclearmente ricos" y un gran grupo de países "Nuclearmente pobres" mediante la prohibición de la posesión legal de armas nucleares a aquellos países que las habían probado antes de 1967, pero que el tratado no explica sobre qué fundamentos éticos es válida esta distinción.

Corea del Norte ratificó el tratado, pero revocó su firma en 2003 tras una disputa con los inspectores sobre "inspecciones de instalaciones nucleares no declaradas". Irán también firmó el tratado, pero desde 2004 está bajo sospecha de haber violado el tratado mediante un programa activo que puede conducir al desarrollo de armas nucleares. La AIEA está investigándolo.

En agosto de 2004, oficiales de inteligencia y expertos no-gubernamentales de Estados Unidos concluyeron que los esfuerzos diplomáticos realizados para prevenir la proliferación de armas nucleares en Irán y Corea del Norte habían fracasado.

1.21 Energía nuclear en México.

A principios de la década de los 50, diversos científicos mexicanos comenzaron a promover el uso de la energía nuclear para diversos fines. Uno de los principales promotores fue el doctor Nabor Carrillo Flores, quien representó a México en la prueba atómica del atolón de Bikini en 1946, además de que fue nombrado asesor técnico de la delegación de México en la comisión sobre Energía Atómica para uso pacífico de la ONU.

El doctor Carrillo Flores, rector de la UNAM de 1953 a 1961, así como otros científicos, impulsaron la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), cuya fundación se dio en 1956, con el objetivo de regular las aplicaciones energéticas y no energéticas, así como los estudios en ciencias nucleares.

En 1972, la CNEN cambió su nombre a Instituto Nacional de Energía Nuclear y en 1979, con la emisión de la ley Nuclear, la institución se transformó para crear la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (que se encuentra en Salazar, Estado de México) y la Comisión Nacional de Energía Atómica, la cual, nunca entró en función. Fue también en 1972 cuando el gobierno federal consideró la energía nuclear como una alternativa para la generación de electricidad.

En ese año, comenzó la construcción de la central nuclear Laguna Verde, núcleo-eléctrica cuya apertura se retrasó durante varios años, hasta que en 1990 se inauguró en la ciudad de Alto Lucero, a unos 80 km al noroeste de la capital de Veracruz.

Cuadro 2. Información básica de la central nuclear Laguna Verde.⁶³

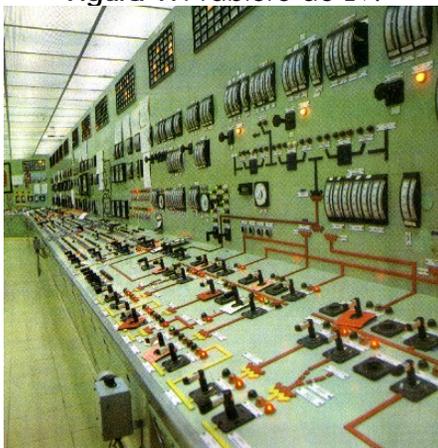
Configuración

La central consta de 2 unidades, cada una con capacidad de 682.44 MWe, equipadas con reactores del tipo Agua Hirviente (BWR-5), y contenciones tipo MARK II de ciclo directo. El sistema nuclear de suministro de vapor fue adquirido a General Electric y el Turbogenerador a Mitsubishi Heavy Industries.

Figura 16. Laguna Verde.



Figura 17. Tablero de LV.



Desde su Operación Comercial, la **Unidad 1** ha generado mas de **78.9 Millones de MWh**.

Desde su Operación Comercial, la **Unidad 2** ha generado mas de **59.2 Millones de MWh**,

Ambas Unidades representan el 2.74% de la capacidad instalada de CFE (incluye productores independientes de energía); con una contribución a la generación del 4.61%.

FUENTE: <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/nucleoelectlagverde/>

⁶³ CFE, 2007. <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/nucleoelectlagverde>

2. Fuentes de energía para la generación de electricidad en México.

El petróleo en México

“Tenemos que ser resueltos, imaginativos, racionales, no librar, porque abunda, contra el petróleo, sino administrar con prudencia”

Lic. José López Portillo Presidente de México (1976-1982)

“Precisamente porque el petróleo es el recurso de la abundancia en este país, tenemos que ser más cuidadosos, tenemos que ser más responsables”, dijo José López Portillo durante la sesión extraordinaria de la junta directiva de Petróleos Mexicanos, entidad que en ese entonces encabezaba el Ing. Jorge Díaz Serrano.

Fue un discurso improvisado, según un reportero presente. Quizá eso explica el arrebatado de inspiración y la prosa pretenciosa tan característica del abogado José López Portillo, también ex secretario de Hacienda.

“Nuestra obligación es optimizar el aprovechamiento de este recurso, el petróleo, de la manera más equilibrada; será la estructura fundamental del país de aquí al año 2000.”⁶⁴

Sonaba lejos ese tiempo. El futuro se vivía en ese momento. En la edición del mismo diario un anunciante señalaba la licenciatura en Mercadotecnia y Publicidad como “la carrera del México actual”. Eran los tiempos del control de precios, la Guerra de las Galaxias y los uniformes escolares verde perico que se vendían en 99 pesos. López Portillo, mientras tanto, reflexionaba sobre las actitudes que deberíamos observar como nación rica, y no mencionaba destinos de inversión. “Tenemos que ser resueltos, imaginativos, racionales, no librar, porque abunda, contra el petróleo, sino administrar con prudencia. En ocasiones esto es más difícil que administrar la miseria (...) ¿Para quiénes vamos a administrar? ¿Para los que se mueren de hambre o para los que no queremos que se mueran de hambre?”.

Justo en esa asamblea, Díaz Serrano informó que las reservas de hidrocarburos eran por 30 mil millones de dólares (tres dólares por barril).

“Que no por suponer que tenemos petróleo, y mucho, y seguramente más del que aquí se ha dicho y más del que muchos se imaginan, hagamos de este recurso el

⁶⁴ Ortiz Soler, Mario. “Hace 30 años: “Administremos la abundancia””, en Excélsior. México, 8 de Agosto 2007, p. 6-A.

único factor para resolver nuestra crisis. Mal haríamos si convirtiéramos al petróleo en el único factor de desarrollo. El riesgo del derroche hace al hijo pródigo". Las palabras, y quizás las intenciones, todavía hacen eco a más de 30 años de distancia. No así los resultados.

Hoy importamos gasolinas

Hubo mucho petróleo, sí. Pero se conservó en crudo, no se expandió una industria y sus derivados. Ese es un error que hasta el día de hoy subsiste.

En diciembre de 1976 se exportaron 34.5 millones de barriles de crudo.⁶⁵ Un año después la cifra fue más del doble. En medio estuvo el anuncio de la Presidencia de la República sobre la enorme cuantía de las reservas petroleras que implicaba un futuro optimista: deberíamos de prepararnos para administrar la riqueza, en particular la abundancia de los recursos petroleros en un mundo con precios a la alza. En 1979 se exportaron 194.5 millones de barriles y en los años siguientes las cifras fueron mayores hasta sumar 544.6 millones de barriles en 1982. En el año de 1973, México no exportó crudo y en 1974 apenas fueron 5.8 millones de barriles.⁶⁶ En ese periodo los ingresos por exportaciones provenían de refinados, gas y petroquímicos. Aumentó la exportación y la producción de crudo.

En 1976 se extrajeron 293 millones de barriles de crudo. En 1979 la cifra aumentó en 80% y siguió creciendo hasta alcanzar más de mil millones en 1982.⁶⁷ Sin embargo, la riqueza no provenía de incrementar la producción y transformarla en gasolinas, asfaltos, lubricantes, etanos, etilenos, ácidos y múltiples polietilenos que serían usados en la fabricación de muchos otros productos o en el consumo en el país. La acumulación sería el resultado de exportar crudo. Ese es el comportamiento más relevante de la industria. Un grave error que hasta la fecha no se corrige.

Para muchos la abundancia nunca existió. En el sur de Veracruz, en zonas de Tabasco, en el norte de Chiapas la proliferación de la extracción del hidrocarburo se hizo sin que otras obras estuvieran presentes. Por ejemplo, creció la contaminación en el río Coatzacoalcos sin tomar medidas para evitar afectar a quienes vivían de la pesca, la agricultura, la avicultura y la ganadería. No se hicieron inversiones para evitar la contaminación, tampoco se destinaron recursos importantes a los estados productores de petróleo. Como en otros procesos, el comportamiento de la industria petrolera estuvo caracterizado por los límites, problemas y contradicciones que exhibían la economía y la política en el país.

⁶⁵ *Ibidem* 65.

⁶⁶ *Ídem*.

⁶⁷ *Ídem*.

De 1976 a 1981 el producto interno bruto creció a un promedio anual de 7.4%, superior al del periodo 1950 a 1969. No obstante, fue un crecimiento muy desigual, con concentración regional del ingreso, incremento de las exportaciones a partir del energético, contratación de deuda externa en mercados privados y peso creciente de los ingresos por petróleo en las finanzas públicas. En 1981, las exportaciones de petróleo crudo eran 66% de las exportaciones totales.⁶⁸

Hoy, como en los años 70's, el crudo se extrae para su exportación. No hay proyectos importantes para industrializar el hidrocarburo, pero ni siquiera se observa que los recursos obtenidos se utilicen para garantizar el tamaño de las reservas y su uso en el futuro.

Hoy, más que hace tres décadas, el petróleo no es utilizado para propiciar el desarrollo. Tiene un peso mayor en las finanzas públicas. En 1981, fue 29 por ciento del ingreso del sector público, mientras el año pasado fue 39%. De las exportaciones, 25% es petróleo crudo que, como la mayoría, tiene por destino Estados Unidos. Pero también importamos gasolinas, gas y otros derivados del petróleo.

Entre gasolina, gas, gasóleo y algunos polímeros suman 10% de las importaciones. En muchos sentidos se reproducen los caminos que conducen al mantenimiento de la desigualdad social y de la concentración económica, como cuando el Gobierno prometió que administraríamos la abundancia.

*"Patria: tu superficie es el maíz,
tus minas el palacio del Rey de Oros,
y tu cielo, las garzas en deslíz
y el relámpago verde de los loros.
El Niño Dios te escrituró un establo
y los veneros del petróleo el diablo."*

LA SUAVE PATRIA
Ramón López Velarde

La dependencia del "Oro Negro"

Prácticamente a principios de su administración, en agosto de 1977, el entonces presidente José López Portillo declaraba en el contexto del descubrimiento de enormes yacimientos petroleros en territorio nacional y ante una demanda mundial creciente por el energético y la consecuente espiral ascendente de su precio, que el país de ahora en adelante debería prepararse para administrar la abundancia.

⁶⁸ Ídem.

El “oro negro” había hecho su arribo al escenario nacional. El optimismo desbordado del Gobierno se vio acompañado por lo que sería su propia condena: el exceso de liquidez en los mercados internacionales y el consecuente acceso fácil a créditos (la deuda externa del país se duplicó durante el periodo 1976-1982).

Así, la exploración y explotación de los ricos yacimientos petroleros se ejecutó bajo un supuesto endeble: que los precios del crudo se mantendrían altos por el tiempo suficiente para saldar las deudas contraídas. La caída del precio internacional del petróleo a principios de los 80's y el incremento en las tasas de interés internacionales demostraron lo contrario.

La anunciada administración de la abundancia duró unos años escasamente, hasta el inicio de la crisis de la deuda en 1982. De hecho, dicha abundancia, reflejada en un crecimiento económico promedio de 6.5% durante el sexenio de López Portillo, tuvo mayores costos que beneficios. En primer lugar, la caída desproporcionada del PIB en 1982 y el nulo crecimiento durante el siguiente lustro; en segundo lugar, la adopción (prácticamente permanente) de programas de ajuste y estabilización inducidos por el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial; y tercero, el inicio de la dependencia de las finanzas hacia el petróleo.

A diferencia de otras economías, como la británica o la noruega, por ejemplo, el descubrimiento del hidrocarburo se convirtió en un retardador del desarrollo y, en este sentido, y al igual que otras economías subdesarrolladas, la abundancia de recursos naturales se ha convertido en una suerte de maldición.

¿Por qué la abundancia de “oro negro” no ha sido una fuente de crecimiento, estabilidad y desarrollo? La respuesta más evidente es que los recursos provenientes de su venta se convirtieron en una fuente permanente, y la más importante, sin duda, del ingreso público. Éste, a su vez, se ha destinado principal y crecientemente al gasto corriente y al pago de deuda externa. Apenas un porcentaje menor, en términos de participación del PIB, se ha destinado a inversión en infraestructura o a financiar ciencia y tecnología.

Esto es gravísimo para una economía que requiere grandes cantidades de inversión y el desarrollo de su propia tecnología, ambas fuentes fundamentales de crecimiento. La dependencia de los ingresos del sector público del petróleo (y en consecuencia de su gasto) sólo se ha traducido en una restricción más al crecimiento económico.

Esta limitante se ha acentuado ante la ausencia de una estrategia de crecimiento y desarrollo. En suma, el “oro negro” se ha convertido en un sustituto (en vez de ser una fuente adicional) de los ingresos que el Gobierno debería captar de otras fuentes. Una cuestión fundamental es ¿qué pasará con los ingresos (y el gasto público) cuando los otrora ricos yacimientos de oro negro se agoten?

Hoy en día el director de PEMEX afirma que en ocho años más México ya no tendrá petróleo y se verá obligado a importarlo. Pero esto no se debe a que PEMEX sea una empresa estatal, o a que no se haya abierto a la inversión de capital privado hasta ahora.

El agotamiento de las reservas petroleras y las carencias de financiamiento de PEMEX, se deben a que se ha manejado mal como empresa y a que no se ha hecho nada por corregir la sangría de recursos que sufre por parte del gobierno federal a través de la Secretaría de Hacienda. El gobierno federal decidió continuar y aun ensanchar el camino fácil de la utilización de PEMEX como vaca para extraer de ahí todo el dinero que no ha sido capaz de conseguir por la vía de un sistema fiscal moderno y eficiente.

Ante los altos sueldos que se imponen los altos mandos y su rebotante burocracia, la torpeza política y la ineficacia para llevar a cabo una reforma hacendaria que disminuyera la dependencia de las finanzas públicas respecto al petróleo, el gobierno decide continuar decomisándole a PEMEX sus recursos.

Por las siguientes cifras se puede ver que la petrolización de las finanzas públicas se ha llevado a proporciones excesivas: en 2005 los ingresos presupuestarios del gobierno ascendieron a 1,948,173 millones de pesos. De esa cantidad, 726,103.5 millones fueron de origen petrolero.⁶⁹ PEMEX pagó más impuestos que todas las empresas y causantes del país, por IVA e Impuesto Sobre la Renta (ISR).

Por eso PEMEX está quebrado como empresa, y está monstruosamente endeudado, a pesar de ser una de las empresas petroleras más grandes del mundo, sólo vale un poco más de 13 mil millones de pesos. Es por esto que debe casi todo lo que vale: a finales de 2005 sus activos ascendían a 1 billón 45 mil millones de pesos, pero sus pasivos eran de 1 billón 32 mil millones.⁷⁰

México se está quedando sin petróleo, al agotar rápidamente sus reservas. Es en este momento el país exportador de petróleo con la más negativa relación entre producción y reservas probadas.

Con una producción de 3.4 millones de barriles diarios, sólo cuenta con reservas suficientes para aproximadamente 10 años más. Sólo para comparar con otros países productores: Canadá tiene reservas probadas de petróleo para 204 años, produciendo 2.4 millones de barriles diarios; Irak tiene reservas probadas para 157 años, con una producción de 2 millones de barriles diarios; Venezuela cuenta con reservas para 81 años, produciendo 2.6 millones de barriles diarios.⁷¹

⁶⁹ *Ibidem* 65.

⁷⁰ *Ídem*.

⁷¹ Labastida Ochoa, Francisco. En Ocho Años sin petróleo. México, La palabra.com, 2006.
<http://esp.mexico.com/lapalabra>.

Ante el agotamiento de sus reservas petroleras, México está aplicando una política que peca de irresponsable: mientras las reservas se agotan rápidamente, se aumenta la extracción. De 2.9 millones de barriles diarios en el año 2000, subió la producción a 3.4 millones de barriles diarios en 2005.⁷²

Se está acabando el petróleo de nuestro país porque se está sobreexplotando. Se ha privilegiado la inversión en producción de más petróleo (incluso recurriendo a procedimientos técnicos muy caros, como la inyección de nitrógeno en los pozos agotados para continuar explotándolos), en vez de hacerlo en exploración de nuevos yacimientos que permitan aumentar las reservas.

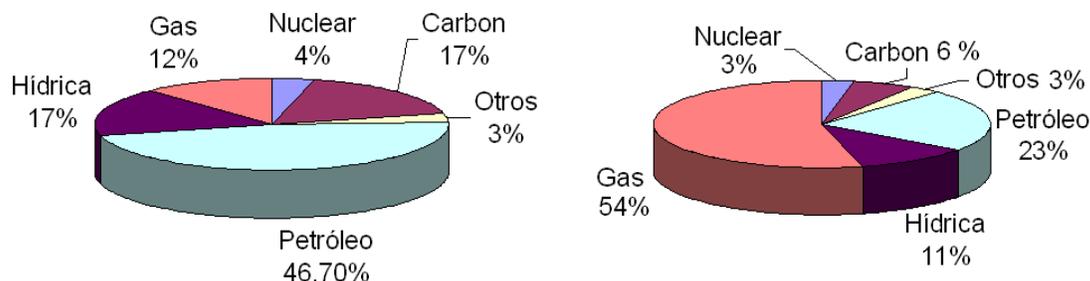
Mientras se privilegia la inversión en producción, también se ha abandonado la refinación y el mantenimiento de las instalaciones, en las que cada vez son más frecuentes los accidentes originados por su creciente deterioro.

Por otra parte, no es secreto para nadie que el empleo del petróleo crudo en un país industrializado para generar en forma masiva electricidad, resulta un desperdicio económico, porque representa un alto costo.

El petróleo tiene un valor agregado mayor en otros sectores económicos, por ello, en el mundo del consumo de petróleo crudo para generar electricidad ha decrecido, ya que en el 2001 era de un 8%⁷³, en los Estados Unidos de un 3%, se proyecta al 2020, menos de 1%⁷⁴, actualmente en los países de la Comunidad Europea es de apenas 9%.³⁵

En México, los derivados del petróleo están entre las principales fuentes de generación de electricidad. De acuerdo con la CFE (2002)⁷⁵, al año 2000, el 46.7% de la generación de electricidad se obtuvo del combustóleo y aceite diesel, no obstante, ya en el año 2010 el gas natural es la principal fuente de generación, con un 54% (Ver Gráfica 7).

Gráfica 7. Aportación de las fuentes de energía para la generación de electricidad en México en 2000 y su proyección al 2010.



FUENTE: SENER, 2001.

72 Ídem.

73 EIA, 2002. Cit. En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (1a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 9.

74 U.S. Government, 2001. Cit. en Ídem.

75 CFE, 2002. Cit. En Ídem.

Una política energética de México actualmente debatible es la de desarrollar una expansión eléctrica con mayor empleo de combustibles fósiles, que propician los mayores costos ambientales y económicos para nuestro país. Bauer y Quintanilla en el año 2000⁷⁶ analizaron la expansión del sector eléctrico de 1997-2006, y concluyeron que la notoriedad del desplazamiento del empleo de las fuentes no fósiles entra en contradicción con los compromisos nacionales e internacionales para aminorar las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto a nivel local como global. Como ha sido descrito por SENER en el 2001.⁷⁷ En el 2000 la generación eléctrica de 192,764 GWh se obtuvo en un 75% de los combustibles fósiles (46.7% petróleo, 11.8% gas y 16.7% carbón mineral y dual) y para el 2010 se estiman 329,448 GWh, de los cuales un 83% (54% gas, 23% petróleo, y 6% carbón mineral).

Esto es, el empleo de los hidrocarburos en la producción de electricidad se incrementará de 58.5% a 77%.⁷⁸ Por lo cual, es importante conocer sus posibilidades de suministro con reservas domésticas, como enseguida se expone.

2.1 Disposición de recursos energéticos primarios para la generación de electricidad en México.

En México, la seguridad del suministro de los recursos energéticos para generar electricidad plantea serios problemas, debido al acelerado agotamiento de sus reservas de hidrocarburos y el alto avance de su explotación. Aunado a las dificultades geológicas y técnicas que repercuten en los altos costos para aprovechar el mayor porcentaje de las reservas, ubicadas en la Región Norte, y en particular, los de la Cuenca de Chicontepec.

A lo anterior, se suma la baja calidad del carbón mineral del país en mantos delgados y plegados, así como su alto costo comercial que conlleva a su bajo aprovechamiento y la falta de desarrollo tecnológico y de recursos humanos para emplear el uranio doméstico.

Por ello en la actualidad se acude al comercio exterior para proveer materias de generación de electricidad, como ocurre con el gas natural, carbón mineral, gasolinas y combustible nuclear de las que México es importador, implicando dependencia energética externa y fuga de divisas.

76 Bauer y Quintanilla, 2000. Cit. En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 3.

77 SENER, 2001. *Ibidem*, Pág. 4.

78 Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 3.

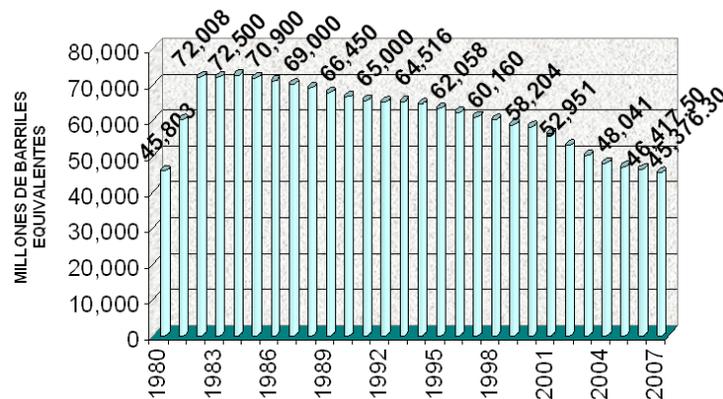
Estas conclusiones llevan a considerar un cambio en la política energética del país para reemplazar las actuales tecnologías de generación de energía eléctrica, que se basan en los hidrocarburos por la disponibilidad confiable y suficiente en la actualidad a precios razonables.

2.2 Las reservas de petróleo en México.

La seguridad en el suministro de hidrocarburos de México, en sus distintas modalidades como es el petróleo crudo, líquidos del gas y el gas seco, se refleja en la variación anual de sus reservas probadas, probables y posibles.

Durante el período de 1980-1984, se obtuvo el mayor incremento de las reservas de hidrocarburos, al pasar de 45,803 millones de barriles a los 72,500 millones de barriles, esto equivale a un 58.2% de aumento.⁷⁹ Desde entonces, es decir, desde 1984, las reservas totales de hidrocarburos del país decrecen año con año como se puede observar en la gráfica 8.

Gráfica 8. Evolución del nivel de reservas totales de hidrocarburos en México, 1980-2007. (Millones de barriles equivalentes)



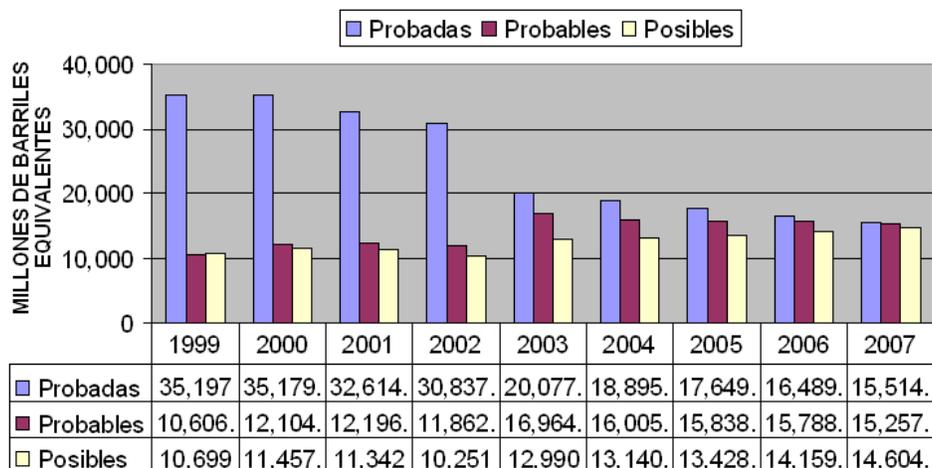
FUENTE: Elaboración propia con datos de la SENER (2001) y PEMEX (2007)

A su vez, recientemente la estructura de las reservas de hidrocarburos del país se ha deteriorado sustancialmente con la caída de sus reservas probadas. En efecto, entre 1999 al 1 de enero del 2007, las reservas probables y posibles crecen de 10,606 mdb a 15,257 mdb y de 10,699 mdb a 14,604 mdb respectivamente, mientras tanto, las reservas probadas decrecen de 35,197 mdb a 15,514 mdb.⁸⁰ La discrepancia se debe a que no existió, en su oportunidad, suficiente inversión en exploración para incrementar a los ritmos adecuados las reservas probadas, a partir de las probables y posibles o mediante la incorporación de nuevos campos (ver Gráfica 9).

79 PEMEX exploración y producción. Las Reservas de hidrocarburos de México. México, 2007. Pág. 13.

80 Ibídem 79.

Gráfica 9. Estructura de las reservas de hidrocarburos en México, 1999-2007.



FUENTE: [Elaboración propia con datos de PEMEX (2007).]

Esta situación también repercute desde 1995 en el acelerado decremento de las reservas probadas de petróleo crudo en México, con fuertes caídas en el 2000 y 2003. En 1995, se reportan 50,776 millones de barriles que en aquel entonces garantizaban por unos 53 años la producción. Sin embargo, al primero de enero del 2003 se ubican en 20,077 millones de barriles y con la producción del 2003, su tiempo de duración se estimaba de apenas 16 años⁸¹ (ver Tabla 5).

Tabla 5. Reservas probadas de petróleo crudo, producción anual y tiempo estimado de duración en México.

Año	Reservas probadas Millones de barriles	Miles de barriles al día	Producción	
			Millones de barriles Anuales	Años de Duración
1992	51,298	2,667.7	973	52
1993	51,298	2,673.4	975	52
1994	50,925	2,685.1	980	51
1995	50,776	2,617.2	955	53
1996	49,775	2,858.3	1,043	47
1997	48,796	3,022.2	1,103	44
1998	40,000	3,070.5	1,120	35
1999	35,197	2,906	1,060	33
2000	35,179	3,012	1,099	32
2001	32,614	3,127	1,141	29
2002	30,837	3,177	1,159	27
2003	20,077	3,370.9	1,230	16
2004	18,895	3,400	1,241	15
2005	17,649	3,400	1,241	14
2006	16,498	3,400	1,241	13
2007	15,514	3,400	1,241	12

FUENTE: Elaboración propia con datos de EIA (2003), PEMEX (2007, 2001 a 2003) e INEGI (1993, 2001 a 2003).

81 Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 5.

El mayor decremento histórico de las reservas probadas de petróleo crudo del país acontece en 2003; tal y como fue expuesto en prensa nacional el 20 de enero por Suárez en el 2003⁸², director Corporativo de Finanzas de PEMEX.

Aclaró que las reservas de petróleo crudo probadas, eran de 13,932 millones de barriles al excluir a las no desarrolladas de la región de Chicontepec, ya consideradas, se incrementaron en 20,077 millones de barriles.⁸³

Por otra parte, anunciaba también la caída de la producción de hidrocarburos de los yacimientos de Cantarell después del 2004. En efecto a mediados del 2003 se reportaron en la estadística mundial de reservas probadas de petróleo crudo por país, que las de México eran de 20,077 millones de barriles, referidos al 1 de enero del 2003.

Por tanto, México pasó por sus reservas de petróleo en el mundo del décimo al decimocuarto lugar, cayendo cada año hasta el año de 2009 en el que se encontraba en el decimoséptimo lugar.

2.3 Las reservas de hidrocarburos de la región Norte y sus implicaciones en el sector eléctrico.

La problemática económica de la Región Norte es que además de contar con el 40% de las reservas totales de hidrocarburos del país, su producción de petróleo crudo es decreciente y mínima, en 2002 representó el 1.4% del total. Sin embargo, en la próxima década se requerirá elevar la producción a fin de cubrir necesidades energéticas del país, en particular, la del sector eléctrico, que hacia el 2010 depende al menos de un 75% del petróleo y del gas natural.⁸⁴ Las perspectivas de la viabilidad económica de los campos de la Región Norte (Cuenca de Chicontepec), se definen por sus características geológicas, las tecnologías disponibles y el nivel de inversión para su desarrollo. Para servir de base a la presente discusión, se consideran dos posibles escenarios económicos, como reservas convencionales y otra como no convencionales, los cuales se exponen en seguida.

82 Suárez, 2003. Cit. En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 5.

83 PEMEX exploración y producción. Las Reservas de hidrocarburos de México. México, 2007. Pág. 20.

84 PEMEX exploración y producción. Las Reservas de hidrocarburos de México. México, 2007. Pág. 25.

Figura 18. La Región Norte está constituida por una parte continental y otra marina.



FUENTE: PEMEX (2007).

Figura 19. Áreas de explotación de PEMEX.

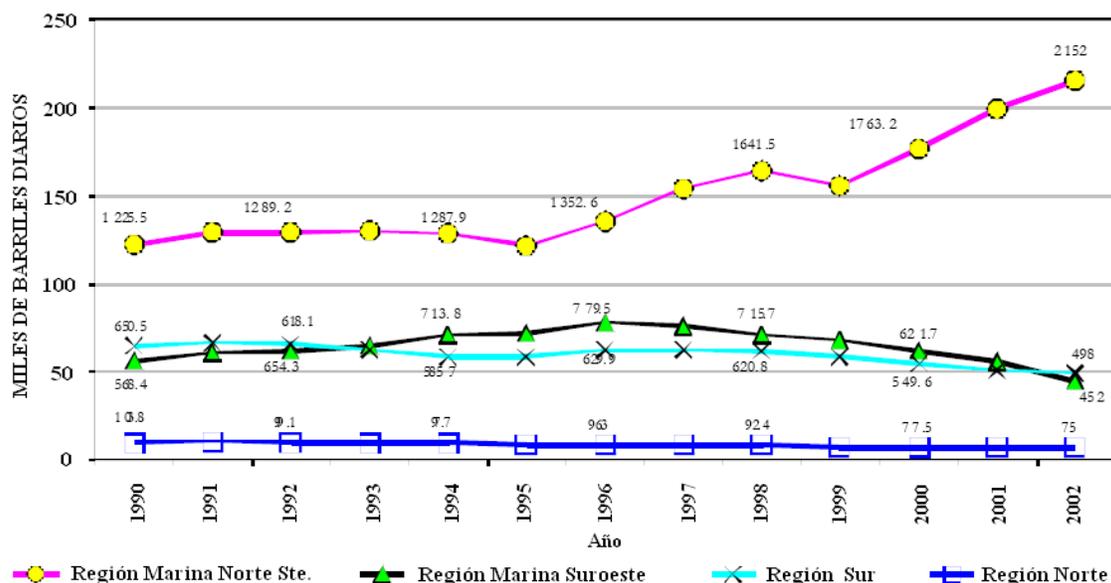


FUENTE: Panorama de PEMEX 2006, PEMEX 2006, México.

Si se plantean las reservas de Chicontepec, como reservas de hidrocarburos convencionales, significa que como tal, tendrán la capacidad para cubrir los decrementos de la producción, que acontece en la mayoría de las regiones productoras del país, y así mantener los niveles de producción. En esta situación, podrán compensar por lo menos, el descenso de la capacidad de producción de los campos de Cantarell.⁸⁵ (Ver Gráfica 10)

85 Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 6.

Gráfica 10. Producción de petróleo crudo por región geográfica en México. 1990-2002.



FUENTE: Elaboración Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), con datos de PEMEX (2003 y 2002) / Exploración Producción, anuario (2001 y 2002).

En cambio, si los campos que quedan por explotar de la Región Norte (Cuenca de Chicontepec) son de tipo no convencional, entonces su aprovechamiento será mínimo hasta que hacia el 2030 se estén agotando las reservas mundiales de hidrocarburos convencionales, y entonces, ante un mercado de hidrocarburos de precios altos podría alcanzar la competitividad comercial.

De la Fuente y Mejía Isidro (1969)⁸⁶ realizaron el estudio geológico y económico de los campos de gas-aceite de la Cuenca de Chicontepec. Estos autores determinan las limitantes de su viabilidad debido a la consistente falta de permeabilidad de la roca. Las altas dificultades en la perforación conllevan a una labor de lento avance y frecuente abandono de la operación. Por lo tanto, en las pruebas de producción no hay flujo de hidrocarburos por falta de permeabilidad en la roca; por lo tanto, los hidrocarburos son básicamente gas y muy poco aceite ligero que fluyen mezclados con agua salada.

Por sus características geológicas y los resultados de las pruebas de producción, los campos de hidrocarburos de la Cuenca de Chicontepec difícilmente podrían llegar a tener a corto y mediano plazo, un papel significativo como reservas convencionales.

86 EIA, 2003. Cit. En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 7.

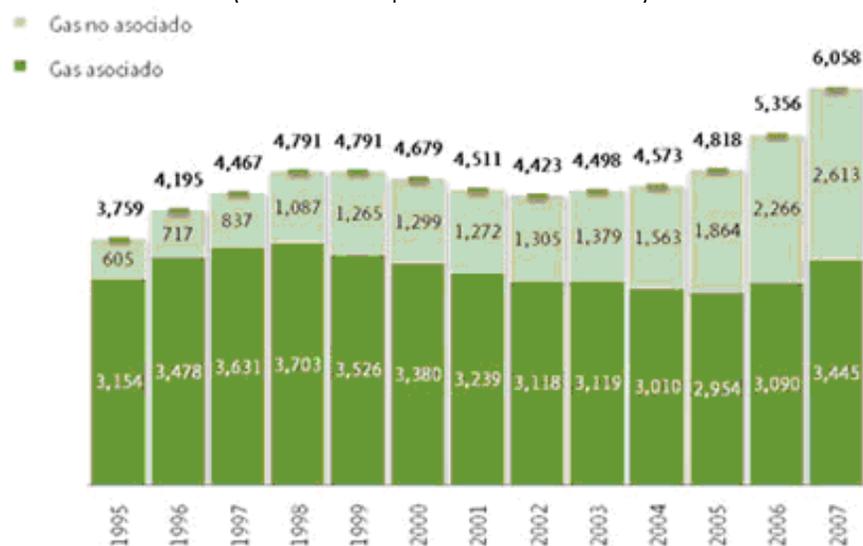
A diferencia de los campos marginales de Alberta Canadá recién integrados a las reservas mundiales,⁸⁷ los de la paleo trinchera de Chicontepec son campos de escasa continuidad lateral; rápidos cambios litológicos laterales y verticales acompañados de acuñamiento, los configuran como micro campos discontinuos, aislados y de formas irregulares, difíciles de ubicar con exactitud y con costos de producción altos.

En adición, para la nula permeabilidad de la roca en las zonas no fracturadas, se requiere de tecnologías costosas para fracturarla. Estos factores elevan los costos para ser aprovechables en gran escala comercial, mientras existan en el mercado internacional reservas de hidrocarburos convencionales.

2.4 Las reservas de gas natural en México.

Desde 2002 se mantiene una tendencia creciente en la producción de gas natural, que permitió alcanzar un volumen de 6,058 MMpcd en 2006, 13.1% mayor que en el año previo. La producción de gas asociado representó el 56.9% con una producción de 3,445 MMpcd mientras que la producción de gas no asociado fue de 2,613 MMpcd representando el 43.1% de la producción nacional. La producción de gas asociado aumentó 11.5% y la producción de gas no asociado aumentó 15.3% respecto a la producción de 2006.⁸⁸

Gráfica 11. Extracción de gas natural 1995-2007.
(Millones de pies cúbicos diarios)



FUENTE: Petróleos Mexicanos. Base de Datos Institucional.

87 Ibídem. Pág. 8.

88 La industria en México. Extracción y Producción. SENER.

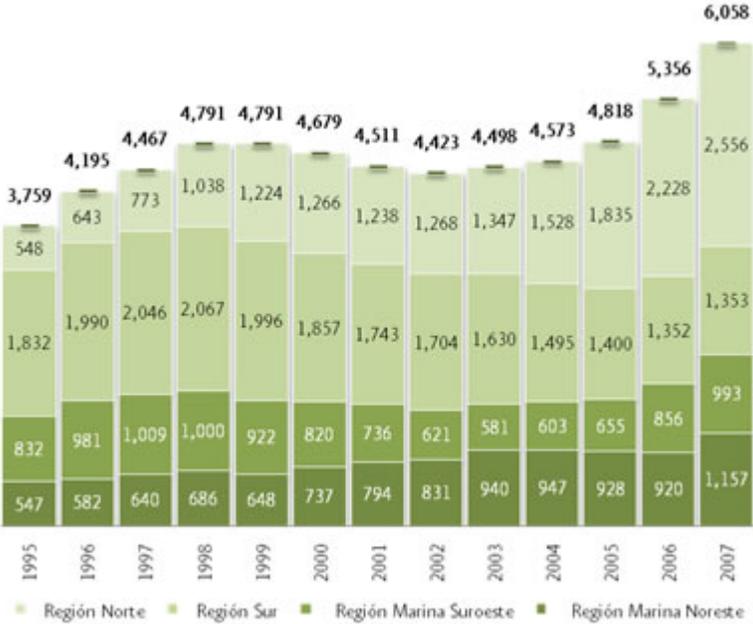
<http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=425>. Consultada el 23 de Mayo del 2010.

La región con una mayor participación en la producción nacional durante el 2007, fue la región Norte que participa con el 42.4% de la producción nacional. Esta región ha participado con más del 30% de la producción desde el 2004 y su participación ha ido en aumento desde 1995.

Las regiones marinas en conjunto han mantenido su participación en un 34% mientras que la Región Sur ha tenido una disminución en su participación en la producción nacional desde 1995, en ese año participó con el 48.7% mientras que en 2007 su participación fue de 22.3% de la producción nacional.

La región con una mayor participación en la producción de gas asociado es la región Sur con el 33.8% seguida de la región marina Noreste con el 33.6%. El activo que participa con una mayor producción de gas asociado es Cantarell con el 27.4% de la producción de gas asociado y el 81.7% de la producción de la región a la que pertenece este activo.

Gráfica 12. Extracción de gas natural región 1995-2007.
(Millones de pies cúbicos diarios)



FUENTE: Petróleos Mexicanos. Base de Datos Institucional.

En cuanto a la producción de gas no asociado, la región con una mayor participación en la producción de este gas es la región Norte con el 92.8% y el activo con mayor producción es Burgos con el 54% de la producción de gas no asociado y con el 58.2% de la producción de la región Norte.

De fundamental importancia para la economía del país sería la generación de electricidad mediante recursos domésticos, los cuales propicien altos niveles de desarrollo tecnológico a costos razonables y de mayor efecto multiplicador hacia todos los sectores de consumo. Esta posibilidad de alcanzar una producción competitiva, permitirá generar excedentes para su exportación, por su calidad, cantidad y limpieza. Este conjunto de condiciones de sustentabilidad no podrían ser alcanzadas en México basándose en los combustibles fósiles, en particular con el gas natural, que al emplearlo en la generación eléctrica, afecta al ambiente en cuanto al tema del calentamiento global.

En efecto, el escenario actual de los campos productores del gas natural en México es su insuficiencia de reservas probadas para sostener la actual producción. Aunado a la intensificación de la volatilidad al alza de los precios del gas natural en el mercado internacional, en el que ya no será un combustible barato. Todo esto repercute en que de no modificarse a corto plazo la actual política energética de México, orientada a intensificar la generación eléctrica basándose en el gas natural, se incrementará el riesgo de la seguridad energética del país.

2.5 Escasas probabilidades de encontrar significativas reservas de hidrocarburos en las aguas profundas del Golfo de México.

De acuerdo a la información presentada en el informe de las reservas de hidrocarburos del 2009 por PEMEX, se observa que año con año existe un mínimo ascenso en las reservas totales incorporadas, alcanzando un valor máximo de 1,482.1 millones de barriles de petróleo crudo equivalente en el año 2008. El incremento de reservas totales descubiertas es de 40.7 por ciento con respecto a 2007. Asimismo, las incorporaciones más importantes se presentan en las Cuencas del Sureste, donde la cifra para 2008 ascendió a 1,372.9 millones de barriles de petróleo crudo equivalente es decir, el 92.6 por ciento del total nacional.

De acuerdo al tipo de fluido contenido en los yacimientos, las reservas 3P de aceite fueron descubiertas en las Cuencas del Sureste, alcanzando la cifra de 1,095.6 millones de barriles, este volumen es 55.2 por ciento superior al reportado en 2007. En particular, los descubrimientos de aceite ligero y superligero en las Cuencas del Sureste, contribuyeron con 27.6 por ciento. Además, dichos descubrimientos permitirán mejorar la calidad de los aceites pesados incorporados en la parte Norte de la cuenca, mejorando así la calidad del crudo de exportación mexicano. El 72.4 por ciento restante, correspondiente a crudos pesados, fue aportado por los yacimientos de Ku-Maloob-Zaap en la Región Marina Noreste y Cinco Presidentes en la Región Sur.

Al 1 de enero de 2009, las reserva 3P de gas natural descubierta suma 1,912.8 miles de millones de pies cúbicos, que representa un incremento con respecto a 2007 de 19.3 por ciento. La contribución más importante se debe a los descubrimientos realizados en el Activo Integral Litoral de Tabasco, en particular a la incorporación del campo Tsimin que aportó 976.4 miles de millones de pies cúbicos de gas. Asimismo, las cuencas de Burgos y Veracruz contribuyeron con 580.9 miles de millones de pies cúbicos. Esto evidentemente ayudará a mantener y mejorar la oferta de producción de gas natural. Aunado a lo anterior, el gas asociado a los yacimientos de aceite descubiertos, aportó 18.6 por ciento del gas natural incorporado en el periodo. Como se observa, los volúmenes incorporados han mejorado gradualmente

La evolución de las incorporaciones exploratorias en la Cuenca de Burgos, la cual aunque es una cuenca madura continúa incorporando reservas de gas seco mostrando el potencial remanente asociado, durante el año 2008 registró un incremento de 58.6 por ciento con respecto al ciclo anterior, incorporando 267.1 miles de millones de pies cúbicos de gas natural, que significan 48.9 millones de barriles de petróleo crudo equivalente.

En la Cuenca de Veracruz, el incremento con respecto a 2007 fue de 312.1 por ciento, alcanzando una incorporación de reservas por 313.8 miles de millones de pies cúbicos de gas seco, equivalentes a 60.3 millones de barriles de petróleo crudo equivalente. Las reservas incorporadas en las Cuencas del Sureste durante 2008 registraron 1,372.9 millones de barriles de petróleo crudo equivalente, lo que significa un incremento de 58.7 por ciento con respecto al año anterior.

En términos de aceite y gas, las reservas alcanzaron 1,095.6 millones de barriles y 1,331.9 miles de millones de pies cúbicos, lo que representa un incremento con respecto al 2007 de 55.2 y 104.7 por ciento, respectivamente.⁸⁹

Como se puede observar sí existen descubrimientos, pero ninguno de la relevancia necesaria para el país, si se pretende depender de esta fuente de energía para el desarrollo del mismo además de sostener la economía nacional. Partiendo de esta idea podemos arribar a la conclusión de que la actual política energética propicia un alto riesgo a la economía de México, y crea a su vez una mayor dependencia a las importaciones de gas natural, debido a los altos consumos que obligan al sector eléctrico a satisfacerlas.

89 PEMEX exploración y producción. Las Reservas de hidrocarburos de México. México, 2009.

2.6 Las reservas de carbón en México.

De acuerdo con el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) 2009-2018, el carbón será la segunda tecnología para la generación de electricidad en la próxima década, con 2,078 MW de capacidad adicional. De incrementarse, el número de carboeléctricas en el país, aumentará a su vez el consumo del combustible, lo cual puede estar vinculado con que uno de los principales productores y usuarios de carbón, Estados Unidos, éste se encuentra ya desmantelando su parque de generación por cuestiones ambientales. Lo cual pondrá en el mercado internacional mucho carbón, con lo que el precio tenderá a bajar y podrá ser tomado por México para cumplir con su plan de expansión, de hecho, la CFE acaba de firmar un contrato para el suministro de 11 millones 700 mil toneladas de carbón para los próximos cuatro años. Dicho carbón servirá para cubrir 50% de las necesidades de la carboeléctrica Petacalco.⁹⁰

Ante las proyecciones del POISE de la CFE, se considera que el mercado natural del carbón que deje de utilizarse en Estados Unidos y Canadá caerá en México, por la cercanía y las proyecciones futuras del desarrollo de carboeléctricas. Este documento recién publicado por la CFE, establece la entrada en operación de carboeléctricas bajo la llamada tecnología libre, ya que la inversión inicial de este tipo de plantas no es muy alta, aunque el costo ambiental es muy elevado.

De hecho, se están programando algunas plantas en Coahuila para consumir el carbón nacional que se tiene disponible en la zona, ya que llevarlo hacia Petacalco, donde hay carboeléctricas, elevaría el costo de generación para la empresa.

Según la Prospectiva Eléctrica elaborada por la Secretaría de Energía (SENER), el carbón seguirá siendo uno de los principales insumos energéticos para la generación de electricidad, dada su mayor disponibilidad y porque presenta una menor volatilidad de precios. Esto presenta una inquietud, ¿México cuenta con reservas suficientes de carbón, como para planear depender en cierta medida de la producción nacional de este mineral además de su compra en el extranjero? A continuación algunos datos que pretenden contestar esta pregunta.

Una clasificación simplificada de los grados de carbón⁹¹

Del rango inferior hacia los rangos superiores, incluyendo el potencial calorífico, el carbón se clasifica como lignito (junto con el carbón café), sub-bituminoso, bituminoso, súper-bituminoso y antracita. Inferior al grado de carbón menos desarrollado, el lignito, se encuentra la turba, la cual no se considera un carbón, pero es la primera etapa en la formación de todos los carbones.

⁹⁰ Impulsa México carboeléctricas. Reforma.

<http://www.teorema.com.mx/energia/impulsa-mexico-carboelectricas/>. Consultada el 23 de Mayo del 2010.

⁹¹ Bateman, Alan M. Economic Mineral Deposits, 1955.

El carbón bituminoso es el más utilizado y el más deseado en el mundo, principalmente para la generación de vapor en la producción de electricidad, la calefacción, el gas y el coque. La antracita, aunque no arroja humo y es de un valor calorífico alto, tiene una magnitud de reservas y distribución mundial bastante restringidas. La tasa de combustible, igual al carbono fijo por unidad de materia volátil y la característica principal en la determinación del rango del carbón, es alta en la antracita y baja en el lignito. Por otra parte, un contenido de azufre mayor que 1.5% reduce la calidad del carbón, como también lo hace un contenido alto de cenizas, las que son el residuo del material no combustible.

El carbón en México

Aunque indicios de carbón se han detectado en numerosos estados de la República, sólo hay tres regiones carboníferas importantes. Con mucho, la más importante es la cuenca de Sabinas y Fuentes-Río Escondido en el centro-norte de Coahuila, incluyendo un área contigua pequeña de Nuevo León, que cubre aproximadamente 12 000 km². La cuenca de Sabinas (la fuente básicamente de carbón coquizable de contenido de ceniza más bajo que el de carbón térmico) y Fuentes-Río Escondido (la mayor parte de carbón térmico) producen más de 90% del carbón mexicano.⁹² La siguiente región más importante, aunque muy inferior, se encuentra en la porción noroeste de Oaxaca, donde las vetas, variando de un espesor de unos cuantos centímetros a 3m, contienen poco más que 30Mt.⁹³ La tercera cuenca, ubicada al sur de Hermosillo en Sonora y del período Triásico, también tiene reservas estimadas reducidas (85Mt). La formación llamada Barranca con vetas de carbón también contiene grafito, el cual es la forma metamorfoseada última del carbón, o sea, el elemento carbono puro. Tanto los yacimientos pequeños de Oaxaca como los de Sonora, del Triásico y Jurásico, están en estratos fuertemente plegados y con fallas geológicas que hacen que su explotación sea difícil y, por tanto, costosa. En contraste con estos yacimientos, las dos vetas económicamente explotables en la cuenca de Sabinas, variando de 1 a 2 metros de espesor y al principio explotadas mediante minas de cielo abierto pero ahora también con métodos subterráneos, producen un carbón cuyo contenido de material volátil de 20 a 25% y contenido relativamente bajo de azufre (1.2%) son aceptables, pero cuyo contenido promedio alto de ceniza (23%) reduce el grado de calidad de este carbón de Sabinas.⁹⁴

Según las últimas estimaciones México tiene reservas relativamente pequeñas de carbón, 1.2 mil millones de toneladas (1.2Gt), 0.1% del total mundial, de las cuales cerca de 860Mt son de carbón bituminoso con cantidades menores metamorfoseadas a antracita y 350Mt son carbones sub-bituminosos. Aun más pesimistas son los recursos estimados de 2Gt, que consisten también en mucho carbón sub-bituminoso no siempre de buena calidad además de lignito inferior cuya producción actual es sin importancia.

92 Wallace Robert-Bruce. El Carbón en México. Economía Informa. Núm. 359. Julio-Agosto 2009.

93 Ídem.

94 Martín-Amouroux, 2008. Cit. En Wallace Robert-Bruce. El Carbón en México. Economía Informa. Núm. 359. Julio-Agosto 2009.

Se estima que la razón de reservas probadas/producción al final de 2007 fue de aproximadamente 99 años.⁹⁵ Para poner esta cifra en un contexto comparativo, EU, con reservas estimadas de 242.7Gt, tenía 28.6% del total mundial en 2007. La razón reservas/producción de este país se estimó en 234 años.

Por ejemplo, en 2006 la producción nacional se quedó muy corta de la demanda, de manera que se requirieron importaciones. La CFE absorbió más del 80% de la oferta total. Sin duda, el país tendrá que importar volúmenes más grandes para satisfacer la demanda doméstica si la producción no crece significativamente. Las cifras preliminares de importaciones correspondientes a 2007 se estiman en 11.4Mt. Aunque las reservas potenciales deberían poder ser suficientes en cuanto a volúmenes, la inversión fuerte requerida ciertamente limita la producción comparada con la demanda total.

Por lo que se refiere a la generación total de electricidad en México en 2006, el carbón fue responsable por 12.7%, el petróleo (21.6%) y el gas natural (45.5%), dando una participación total de casi 80%.⁹⁶ Sin embargo, respecto a los 51,029MW de capacidad pública instalada, las plantas generadoras de electricidad con el uso de carbón sólo tenían una participación de 9.2% en 2007.⁹⁷ La carboeléctrica José López Portillo (1,200 MW), en Río Escondido, Coahuila, estrenada en 1982, fue seguida por Carbón II (1,400MW) en el mismo lugar; ambas queman carbón doméstico y carbón importado de EU. Posiblemente una parte de la razón de que estas dos plantas no dependen completamente del carbón doméstico de Sabinas se debe a que una de las carboeléctricas requiere una calidad superior de carbón, de manera que la variedad importada se mezcla con la variedad con demasiadas impurezas de Sabinas. Al menos en 2004 la otra planta sólo consumía carbón importado. Se puede concluir que el contenido alto de azufre en el carbón mexicano obliga a México a ser importador de carbón térmico.

La planta de combustible dual Plutarco Elías Calles, inaugurada en Petacalco, Guerrero en 1993, aunque es capaz de quemar ya sea hidrocarburos o carbón, prefirió quemar carbón (4Mt/año de importaciones). Finalmente, una planta termal de electricidad con base en el carbón, financiada públicamente, se proyecta ser inaugurada en un sitio de la costa de Guerrero para 2010.⁹⁸

Para satisfacer la demanda primaria de energía, se espera que la demanda total de carbón crezca en torno de 4.2% anualmente hasta 2030 en México, mientras que se pronostica que su competidor principal en la generación de electricidad, el gas natural, crecerá a una tasa anual de 3.3%.

95 BP Statistical Review of World Energy, junio, 2008. Cit. En Wallace Robert-Bruce. El Carbón en México. Economía Informa. Núm. 359. Julio-Agosto 2009.

96 IEA, Electricity for México, 2006. Cit. En Ídem.

97 Prospectiva SENER 2008-2017.pdf, p.16. Cit. En Ídem.

98 APEC Energy Demand and Supply Outlook, 2006, www.iecej.jp/apec/2006pdf//outlook2006/ER_Mexico.pdf.

El incremento esperado de la participación de carbón se debe fundamentalmente al deseo del gobierno de diversificar el uso de los combustibles para la generación de electricidad y, por lo tanto, reducir la dependencia elevada del uso de gas natural. Se proyecta que la generación de electricidad será del orden de 505TWh en 2030, de cuyo monto el gas natural suministrará 59%, el carbón 19%, el petróleo 10%, hidro 7% y el resto (3%).

Como puede observarse existen reservas, pero de ninguna manera en la cantidad suficiente como para pretender depender de esta fuente de energía para el desarrollo del país. Partiendo de esta premisa se puede concluir que la política energética adoptada propicia un alto riesgo a la economía de México, y ésta a su vez crea mayor dependencia extranjera, debido a los altos consumos que obligan al sector eléctrico a satisfacer su consumo importando el mineral de otras latitudes.

2.7 Análisis de los datos anteriores.

Es curioso, que ningún medio mexicano o agencia de noticias haya hecho una importante mención del cenit de la producción petrolera, como si jamás fuese a existir. Por otra parte, se ha mencionado en varios sitios (por ejemplo en el diario La Jornada y ahora en El Universal, entre otros) que quedan reservas para apenas 11 años (La Jornada) y los 13 que menciona el Universal y la agencia EFE. Hasta hace poco se utilizó este dato por parte del gobierno federal para inmediatamente después, solicitar apoyo para la reforma energética, (el dinero privado parece poder resolverlo todo), aunque apenas resuelve una mayor intensidad exploradora en aguas profundas o lugares remotos y complicados del sur mexicano, o a la intervención de compañías extranjeras en la exploración y explotación de los hallazgos, a un coste energético mayor.

La pregunta final es: ¿Por qué los nuestros gobernantes se niegan a admitir la realidad de la caída inminente de la producción, incluso cuando tienen tan encima el caos, admitido por su propio nivel de reservas? Dos aspectos debieran inquietar a nuestros funcionarios: el primero es, que uno no puede basar el futuro de su país, de los años 2020 en adelante, en algo que "es probable" o que es "posible" Y la segunda preocupación, es que aunque lo posible y lo probable fuese realidad, debería empezar a preparar a su propio pueblo para una sociedad post petrolífera desde hoy mismo, porque incluso en el mejor de los escenarios, el final de la era del petróleo, si no está en 2020, estará en el 2036 y los más de cien millones de mexicanos necesitan tiempo para aprender a vivir sin petróleo.

Incluso puede que necesiten ese petróleo para realizar esas adaptaciones, con lo que exportar más de la mitad de la producción nacional podrá ser considerado por sus hijos (ni siquiera por sus nietos) como un asalto a mano armada a nuestra patria.

2.8 ¿Qué están haciendo otros países productores y consumidores de petróleo?

En teoría, las economías basadas sobre el petróleo corren con ventaja en la lucha contra la pobreza. Pero la realidad es bastante diferente. La extracción de crudo ha servido, de hecho, para enriquecer a pequeñas elites y engendrar corrupción, miseria y conflictos.

Países ricos en petróleo como Nigeria, Chad y Angola se ubican en los puestos más bajos en materia de desarrollo humano, según la nómina que cada año elabora el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Mientras que, naciones que carecen de hidrocarburos, como Corea del Sur y Japón, están mucho mejor ubicados.

Por ejemplo, Chad recibió grandes préstamos del Banco Mundial, a condición de que las ganancias petroleras fueran usadas en el combate contra la pobreza. Pero el año pasado, el gobierno anunció que gastaría ese dinero en defensa y en armas. Como consecuencia, el Banco interrumpió los pagos en enero pasado.

Es por esto que es necesario informarse acerca de las estrategias que están adoptando países productores de petróleo con el fin de ilustrar cual podría ser la más exitosa, y adecuada para nuestro país.

2.8.1 Países productores.

Brasil

La economía de Brasil es la más poderosa de América latina y la sexta a nivel mundial. Las exportaciones brasileñas, se encuentran entre las veinte más grandes del mundo. Su economía es muy importante a nivel americano y mundial. Hoy es el líder del MERCOSUR y tiene un papel importante en el G20.

Actualmente es una superpotencia agrícola, teniendo una posición de liderazgo en muchos productos como café, carne, soja, azúcar, carne aviar, naranja y otros. También es un país industrializado y gran exportador de automóviles, teléfonos celulares y aviones.

En lo que corresponde a los hidrocarburos, Brasil maneja la compañía Petrobras que fue fundada en 1953, la compañía brasileña enfocada al sector de hidrocarburos, PEMEX, en 1938, brindó orientación a los primeros directivos de Petrobras, cuyo objetivo fue el ejecutar las actividades del sector petrolífero en Brasil en nombre del gobierno.

Esta empresa se ha consolidado como líder en desarrollo tecnológico, sobre todo en el área de exploración y producción en aguas profundas. En el caso de Petrobras, de 1953 y hasta 1996 se trabajó bajo un régimen de monopolio estatal, aunque en el área de distribución de derivados y gasolineras, siempre hubo apertura a la inversión. Ahí operan empresas como Exxon, Shell y Texaco, entre otras, algunas de ellas con más de 90 años de permanencia. Sin embargo, la exploración, producción, transporte, refinación y comercialización estuvieron bajo el control del monopolio estatal brasileño hasta 1997, cuando se realizó una reforma que buscaba aumentar las inversiones en la industria petrolera.

La preparación para competir abiertamente implicó que la empresa experimentara una transformación en su estructura y en su gobierno corporativo, además de que se resolvió dar un gran impulso al desarrollo de tecnología y a la capacitación del personal. Además, actualmente se tienen que respetar las reglas de los mercados bursátiles tanto de Brasil como de Madrid o de Buenos Aires, hecho que también obligó a modificar la manera de administrar la compañía.

A raíz de esas reformas, Petrobras dejó de ser la única que extrae petróleo en el territorio brasileño, actividad a la que ahora se han sumado empresas internacionales. Además, el 21 de abril de 2006, el presidente Luiz Inácio Lula da Silva dio inicio a la producción de la plataforma P-50, en el campo Albacora Leste (Cuenca de Campos), lo que permitió a Brasil alcanzar su autosuficiencia en petróleo.

Petrobras está presente en México desde 2003 como operadora en contratos de servicios múltiples para la exploración y producción de gas natural en los bloques en tierra Cuervito y Fronterizo, en la Cuenca de Burgos, asociada con la japonesa Teikoku Oil y la mexicana Diavaz. Además ha firmado acuerdos de cooperación tecnológica con PEMEX, sobre todo en materia de exploración petrolera en aguas profundas.

Cifras contundentes

Mientras que el plan de negocios para el periodo 2008 a 2012 indica que Petrobras invertirá 112.4 mil millones de dólares, o casi 22.5 mil millones de dólares anuales, durante el sexenio anterior la inversión en PEMEX promedió 9 mil 900 millones de dólares cada año.⁹⁹

Cabe destacar que del monto total de inversiones de la compañía brasileña para 2008-2012, casi 85% surge de su generación propia de dividendos, mientras que el resto de los recursos provendrá de terceros. Sin embargo, el futuro para Brasil parece más prometedor, luego del descubrimiento de un yacimiento en sus aguas territoriales, mientras que PEMEX se enfrenta a la declinación de su principal campo, Cantarell.

99 Jiménez, Roberto. "El alumno que superó al maestro", en Excélsior. México, 18 Ene. 2008, Dinero 8.

La estatal brasileña Petrobras anunció el hallazgo de grandes reservas de petróleo y divulgó el descubrimiento de una nueva área al sur del país con un inmenso potencial que puede convertir a Brasil en uno de los grandes productores del mundo. En lo concreto, Petrobras anunció que descubrió reservas en el bloque BM-S-11 en el área Tupí, en la cuenca de Santos (estado de Sao Paulo), en las que estimó "un volumen recuperable de crudo, entre 5.000 y 8.000 millones de barriles de petróleo y gas natural".¹⁰⁰

La petrolera brasileña opera el área, de la que posee el 65%; la británica BG tiene 25% y la portuguesa Petrogal-Galp Energía el 10%. El descubrimiento puede aumentar en 50% las actuales reservas de Petrobras, que ascendían a 11.458 millones de barriles de petróleo equivalente al final de 2006, según datos de la compañía.¹⁰¹

Petrobras terminó el 2006, año en que alcanzó la autosuficiencia en Petróleo, con una producción diaria de 1,9 millones de barriles diarios. Ese año registró beneficios récord de 11.800 millones de dólares y un volumen de negocios de 72.500 millones de dólares.¹⁰²

El estado brasileño tiene el 32% del capital social de Petrobras, y 55,7% del capital con derecho de voto que le asegura su control. El sector energético brasileño cuenta con una regulación exhaustiva, a través de su Agencia Nacional del Petróleo, instituida en 1997, encargada de administrar el mercado a través de normas, reglamentos y leyes que todas las empresas deben cumplir, al liberarse de las obligaciones que tenía como monopolio estatal, la empresa se ha convertido en un jugador más en el mercado brasileño.

Además, Petrobras es una de las pocas empresas de petróleo que tiene una tasa de reposición de reservas mayor que su producción, y eso se ha mantenido desde 2004. Sin embargo, en la actualidad el problema de la empresa brasileña no es la generación de recursos para invertir en su desarrollo, ni disponer de la tecnología adecuada para llevar a cabo sus proyectos, sino la falta de recursos humanos para hacer realidad sus proyectos; se prevé que durante los próximos años la empresa contrate a aproximadamente diez mil personas, que se agregarán a los más de 55 mil empleados con que cuenta actualmente.

Un aspecto que no se menciona abiertamente respecto a este modelo adoptado por Brasil es la masiva concentración de capital que se presenta en la industria privada, derivada de los recursos naturales del país, esto es, se concentra la riqueza nacional de todos los brasileños en unos cuantos, que en muchos de los casos no son ni siquiera brasileños.

100 "Estos buscan petróleo y gas y nosotros a Santucho", en La Nación Web, 18 Ene. 2008. Economía.
<http://www.lanacion.com.ar/economia>

101 ídem.

102 ídem.

Noruega

Este país mantiene una estructura económica propia de los países más desarrollados del mundo, donde más del 60% de la mano de obra se dedica al sector terciario y en donde existe un componente singular al ser uno de los principales países productores de petróleo y gas natural de Europa que le aporta una riqueza en torno al 22% del total nacional.

La industria petrolera es fundamental en la economía noruega, con crecimientos sostenidos en las décadas de 1980 y 1990 del 80% del PIB¹⁰³ tras el descubrimiento de yacimientos petroleros en el Mar del Norte en 1963. En el año 2000 Noruega alcanzó el segundo lugar del mundo en exportaciones petroleras. Los altos beneficios que se obtienen de la venta de petróleo y gas permiten destinar una parte al *Fondo Nacional de Petróleo*, cuya misión es garantizar los equilibrios presupuestarios y permitir el beneficio de las generaciones futuras, y cuya cuantía está previsto alcance el 100% del PIB en 2010.

El resto de la actividad industrial, además de la asociada al tratamiento de productos petrolíferos, se sigue basando en la explotación y tratamiento de los recursos naturales tales como la madera, energía hidráulica y la pesca.

En la industria tradicional se encuentra la metalurgia que, aunque ha perdido peso en el conjunto de la economía en el siglo XXI, sigue siendo una actividad exportadora significativa. Destacan igualmente la construcción de plataformas petrolíferas y productos electrónicos.

Noruega mantiene un saldo favorable de 31.000 millones de dólares¹⁰⁴ en el comercio exterior. El mercado noruego por excelencia lo representa la Unión Europea hacia donde se dirigen el 77% de los productos, representando el petróleo, gas y sus derivados el 45% del total de la actividad exportadora del país. También las importaciones proceden casi en un 70% de la Unión Europea.

Noruega comenzó a producir petróleo en 1971, aprovechó con éxito sus riquezas para construir una de las sociedades más ricas y equitativas del mundo.

En marzo del 2006, ese fondo ascendía a 236.000 millones de dólares.¹⁰⁵ Noruega coopera desde los años 80's con la industria petrolera del Sur en desarrollo, y hoy asiste a una veintena de países. Por lo tanto, es la principal fuente bilateral de este tipo de asistencia. Al principio, la mayoría de las consultas de los países petroleros pobres se referían a cuestiones técnicas e institucionales.

103 Información económica institucional del Gobierno Noruego.

<http://odin.dep.no/odin/global/busqueda/bn.html?sok=j&sokeord=econom%C3%ADa>

104 Bases de Datos del Banco Mundial. <http://www.bancomundial.org/datos/>

105 Idem.

Desde septiembre pasado, esos esfuerzos se concentran en el programa Petróleo por Desarrollo. Ahora, los técnicos de asistencia noruegos están más dedicados a cuestiones como la buena administración de los recursos petroleros, la transparencia, la lucha contra la corrupción y el ambiente. En los últimos dos años, los mayores receptores de esa asistencia fueron Angola, Nigeria, Mozambique, Vietnam y Timor Oriental. Tras una recorrida de Solheim por América Latina, Bolivia sumó puntos para convertirse en breve en beneficiaria del programa Petróleo para el Desarrollo.

El modelo institucional de Noruega distingue claramente las responsabilidades gerenciales clave del sector petrolero, tanto a través de regulaciones y políticas comerciales como por el combate contra la corrupción y la promoción de la transparencia, la eficiencia y la independencia de las empresas. En la mayoría de los países a los que Noruega asistió no se cumplía con esos requisitos, pues las empresas petroleras estatales sumaban las funciones regulatorias con las comerciales. La transparencia y la distinción de roles es una prioridad de la ayuda petrolera noruega. Pero algunos actores del sector en los países asistidos resultaron muy resistentes al cambio, dados los beneficios que logran en las actuales condiciones de centralización institucional.

Emiratos Árabes Unidos

El territorio de Emiratos Árabes Unidos es en su totalidad desértico. Por ello las actividades económicas tradicionales se limitan a la recolecta de dátiles, la pesca y la cría de camellos. A mediados del siglo XX el conjunto de los Emiratos constituía una de las regiones más pobres del planeta. Sin embargo, las exportaciones petroleras descubrieron importantes reservas de petróleo y gas natural en Abu Dhabi y Dubai.

Estos dos emiratos constituyen los pilares en los que se ha construido la economía del país, que vio aumentar su PIB hasta colocarlo al mismo nivel de los llamados países desarrollados. Los cuantiosos ingresos derivados del petróleo han contribuido a elevar el nivel de vida de la población y han dotado al país de infraestructuras de primer orden. La ultramoderna Dubai es testimonio del rápido desarrollo del país, que se ve reflejado en una arquitectura de alto nivel. Esta ciudad posee el hotel más grande del mundo y dos Islas artificiales en forma de palmera.

En la década de 1990 el país inició un amplio programa de inversión en educación e investigación. De esta manera el país se puso a la cabeza de la inversión en investigación entre los estados árabes. En los laboratorios se producen importantes avances para potenciar la agricultura adecuada al desierto. La riqueza de los Emiratos Árabes Unidos está en gran medida basada en la explotación de petróleo y gas natural, que representan alrededor del 20% de su PIB.¹⁰⁶

106 United Arab Emirates yearbook, 2007.

La nación árabe es el tercer mayor productor de petróleo en el Golfo Pérsico después de Arabia Saudita e Irán (la producción en Irak ha disminuido considerablemente por la guerra). Desde 1973, los EAU han sufrido una profunda transformación, pasando de ser una región empobrecida de pequeños principados a un estado moderno con altos estándares de vida. El PIB Per cápita del país no está muy alejado del de las principales naciones de Europa occidental. Su generosidad en la inversión de sus ganancias petrolíferas y su política exterior moderada le han permitido jugar un papel vital en los asuntos de la región.

En años recientes, el gobierno ha buscado la diversificación de sus fuentes de ingreso para disminuir su dependencia en las reservas limitadas de petróleo. Un resultado de estos esfuerzos ha sido el desarrollo sostenido del turismo, basado en infraestructura hotelera costera, desértica y deportiva. El éxito de estas empresas, aunado a factores como el precio relativamente bajo de materias primas, el clima cálido que prevalece durante casi todo el año, maravillas de la arquitectura como *Burj al-Arab* y *Palm Islands*, y la actitud amistosa hacia Occidente ha llevado a muchos a llamar a los Emiratos Árabes Unidos el Singapur o el Hong Kong de Medio Oriente.

Dubai "*The fastest growing city*" ("La ciudad más rápida en crecer")

Las reservas petrolíferas de Dubai representan menos de una vigésima parte de las de Abu Dhabi, por lo que sólo una pequeña parte de los ingresos del emirato procede del petróleo. Dubai y su vecino de ultramar Deira, independiente en aquella época, eran escalas importantes para los productores occidentales.

Dubai está invirtiendo en la creación de nuevos mega parques industriales, a los que se les aplica un marco legal regulatorio específico Pro negocios, en extremo garantista, lo que favorece la inversión y la rápida instalación de las nuevas empresas, así como un retorno de capitales del 100% y otras ventajas que se suman a las propias de esta ciudad, como la abundante energía de bajo coste y una excelente infraestructura aeroportuaria, no por nada cuentan con el mayor puerto del mundo: el de *Jebel Ali* o *Port Rashid*.

Entre los nuevos parques industriales destacan:

- *Dubiotech*, parque dedicado al desarrollo e investigación biotecnológica.
- *Techno Park*, parque destinado a la industria de alta tecnología, con más de 23 km².
- *Dubai Silicon Oasis*, que apunta a la industria de semiconductores y electrónicos.
- *Dubai Industrial City*, un mega parque industrial enfocado a metales, minería, petroquímica, farmacéutica, comida, maquinaria, etc...

Estos parques se suman a las ya exitosas iniciativas de prestigio internacional tales como, *Dubai Internet City*, *Media City* y *Electronic Commerce* que resumidas bajo el acrónimo de T.E.C.O.M son supervisadas por la autoridad del mismo nombre.

La decisión del gobierno de diversificar su actividad de una economía basada en el comercio pero dependiente del petróleo a una orientada al sector servicios y al turismo ha provocado que la construcción resulte más rentable, lo que se ha traducido en un boom inmobiliario en 2004-2006. La construcción a gran escala ha hecho de Dubai una de las ciudades con mayor crecimiento del mundo, comparable sólo con las grandes urbes chinas.

Este boom constructor se centra en gran medida en megaproyectos. Actualmente el edificio llamado *Burj Khalifa* antes *Burj Dubai*, Es la estructura más alta construida por el hombre. La construcción comenzó el 21 de septiembre de 2004, y su inauguración oficial fue el 4 de enero de 2010. Se localiza en la parte central de las costas de Dubai, los pisos habitables son 160, de los cuales 49 están destinados a oficinas y 61, a apartamentos. El edificio cuenta con 58 ascensores que viajan a una velocidad de 10 metros por segundo. En el piso 124, un balcón abierto al público ofrece una visión panorámica, a 360 grados, de la ciudad.

Dentro del *Burj Khalifa* se encontrará el primer hotel de la marca Armani (en las primeras 39 plantas), 700 apartamentos privados de lujo (plantas de la 45 a la 108), un mirador (planta 123), un observatorio (planta 124) y oficinas (resto de las plantas hasta la planta 156).¹⁰⁷

No obstante, el eventual reinado del *Burj Khalifa* como estructura más alta, al parecer, será efímero, ya que se encuentra el proyecto de un rascacielos de 1.050 metros de altura: la *Nakheel Harbour Tower*, que también se ubicará en la ciudad de Dubai y su construcción se encuentra pausada al menos durante el 2009.

Edificios costeros como *Palm Islands* y *The World* (islas). Edificios de interior como *Dubai Marina*, El Complejo, *Dubai Waterfront*, *Business Bay* y *Dubailand* entre otros.

Figura 20. Burj Khalifa.



FUENTE: United Arab Emirates yearbook, 2007.

107 Ibídem 102.

Figura 21. The World Islands.



FUENTE: United Arab Emirates yearbook, 2007.

Figura 22. Palm Islands.



FUENTE: United Arab Emirates yearbook, 2007.

Dubai quiere además romper todos los récords. Está en construcción el edificio más grande del mundo, el hotel más grande del mundo, el mall más grande del mundo, el parque de diversiones más grande del mundo, el primer hotel bajo el agua (Hydropolis) y el edificio residencial más grande del mundo, entre otros.

Los expatriados de distintas nacionalidades también han inyectado capital en los últimos años en Dubai, contribuyendo enormemente a la prosperidad de la ciudad. Tan sólo los inmigrantes de origen iraní han invertido unos 200 mil millones de dólares en Dubai.

2.8.2 Países consumidores.

China

China presenta un crecimiento económico sostenido que la perfila como contendor de la hegemonía de EE.UU. para mediados de siglo. Su población es un enorme potencial para la actividad económica, especialmente si se mantienen medidas de planificación prospectiva estrictas y nacionalistas, con una apertura exitosa a la inversión extranjera. Pero su talón de Aquiles es la insuficiencia de energía. Por ello la ocupación por parte de EE.UU. de Irak y los conflictos del medio oriente son enfrentamientos con China.

La geopolítica habla hoy de una recomposición de la bipolaridad para mediados de siglo, con el sostenido crecimiento chino, frente a la hegemonía de EE.UU. China pisa los talones a Japón como segunda potencia económica mundial, y las proyecciones muestran que lo superará. Su economía en expansión no cesa de generar bienestar a un segmento cada vez más amplio de su población. China salió del mapa del hambre de inicios del siglo XX, para disponer hoy en día de reservas de cereales para ocho meses para su población de más de 1,300 millones de chinos, la cuarta parte de la del planeta. Si hasta la década de los setentas el transporte era en carretas y bicicletas y la indumentaria uniformizada tipo Mao la mostraban todos por igual, hoy Beijing es una efervescente ciudad con cinco anillos de autopistas y una espectacular arquitectura.

Desde finales de los setentas se dieron reformas que orientaron el crecimiento económico y fortalecieron la productividad agrícola y las mejoras en la calidad de vida del campesinado para limitar el éxodo a las grandes ciudades. Con esa base se emprendió una reforma que condujo al desarrollo industrial actual, basado en la gran fortaleza de su mercado interno, en las herencias de la organización imperial, y luego comunista central, que impone decisiones que impulsan el crecimiento, y en las grandes masas de trabajadores que dan movimiento a las maquiladoras. También la agresiva política de "*Joint-Venture*" ha permitido desarrollar la industria al interior de China, e iniciar la colocación de industrias chinas en el extranjero. Otro ejemplo es Shanghai, la que fue ciudad del opio y del té, del comercio y la colonia, es hoy el más espectacular laboratorio de arquitectura del siglo XXI, que impone una velocidad extenuante y un discurso artístico que marca el fin de un siglo y el comienzo de otro.

Hoy se promocionan vacaciones para incentivar el turismo interno, para que los chinos viajen, conozcan su país y hagan que el dinero circule, estimulen inversiones y expectativas de crecimiento en todo el país, especialmente en el oeste chino, bastante despoblado, extenso y atrasado.

Con una organización prospectiva planificada de tradición imperial, se pueden permitir decisiones que orienten el consumo e incentiven industrias convenientes para el desarrollo. Imaginemos que el gobierno central decide que todo chino debe comprar un nuevo par de zapatos o un pañuelo para el uniforme escolar de los niños, y casi por arte de magia aparece una enorme demanda que hace surgir la correspondiente industria. Así crece la economía.

La estabilidad política, los incentivos planificados, los regímenes especiales de impuestos, el propio mercado interno de grandes magnitudes, el aumento de los costos de la mano de obra en los países desarrollados y los bajos costos de la misma en China, desplazaron industrias y capitales desde los países desarrollados y los instalaron en esa China.

Los "*Joint-Venture*" han sido un procedimiento fundamental de inversión y de transferencia tecnológica. Ese mecanismo estimula la presencia extranjera en China y es utilizado por China para colocarse en el extranjero. Por otro lado, empresas de construcción chinas han realizado obras importantes como represas, trenes, edificios y puentes en países en desarrollo, especialmente en África, desde hace algunas décadas, desarrollando su propia industria de la construcción y relaciones de apoyo al desarrollo.

En 2003 China consumió la mitad de la producción mundial de cemento, 36% de la de acero, y 30% de la de carbón, su desarrollo requiere de grandes cantidades de materia prima.¹⁰⁸ Consume y crece, y es que su mercado interno, con crecimiento sostenido, es un fenómeno económico. En el siglo XXI China invade occidente. En Estados Unidos los jóvenes estudiantes chinos se destacan por su alta competitividad y ocupan lugares destacados no sólo en universidades prestigiosas, sino también en la educación secundaria. China tiene desde hace algunos años estudiantes en los más importantes centros tecnológicos del mundo.

Sin petróleo no hay futuro. En busca de su autosuficiencia energética China construye actualmente la mayor represa hidroeléctrica del mundo, pero aún necesita petróleo. Por ello el conflicto de Irak tiene la ventaja de colocar a EE.UU., en una posición más cercana al control de las fuentes de petróleo, el necesario para sus requerimientos a gran escala, el que no se pudo sacar de Alaska por razones ecológicas, está en Irak, aunque le quemaron los pozos por la ocupación. La guerra de Irak es contra China, para buscar acorralarla y dificultarle el futuro.

Dinamarca

En 1973, en respuesta a la Guerra de Yom Kippur entre Israel y Egipto, La Organización de Países Productores de Petróleo Árabes instauraron el “embargo de petróleo árabe”, cualquier país que apoyara a Israel en la guerra dejaría de recibir cargamentos de petróleo. Esto significó que para los Estados Unidos, Japón, y la mayoría de Europa el efecto fuera devastador, incrementando los precios iniciaron una recesión mundial.

Muchos de los países afectados implementaron inmediatamente planes para conservar energía: Los Estados Unidos bajaron sus límites de velocidad y comenzaron programas como el de “apague sus luces por la noche”.

Pero cuando la crisis terminó, la mayoría de los países dejaron esos programas y regresaron a sus mismos hábitos. Dinamarca fue diferente: siendo 99% dependiente del petróleo extranjero,¹⁰⁹ fue particularmente impactada por el embargo. Determinado a nunca más estar a la merced de los proveedores de petróleo, Los daneses siguieron conservando sus programas de restricción y trabajaron en reducir su propio consumo de energía.

108 Genatios Carlos y Lafuente Marianela. "China y su crecimiento ¿sin petróleo?". Voltaire. 10 Ene. 2008.
<http://www.voltairenet.org/article122996.htm>

109 Energy Independence: How Denmark Kicked Its Foreign Oil Habit. Neatorama. 2008.
<http://www.neatorama.com>. Consultada el 28 de marzo del 2010.

Un esfuerzo comunitario

En 1976 el público danés estuvo sometido a un ambicioso (y caro) programa para lograr independizarse energéticamente por completo, con el desarrollo de nuevos sistemas de energía limpia, con el objetivo de expulsar los negocios petroleros extranjeros completamente. Algunas de las estrategias aplicadas fueron las siguientes:

- Estrictos estándares de eficiencia de energía fueron implantados en todos los edificios.
- La gasolina y los automóviles fueron severamente gravados fiscalmente (Al día de hoy los automóviles están gravados con más del 105% del costo del auto).
- “Sistemas de Calentamiento Distrital” fueron implementados a través del país, reutilizando el calor normalmente desperdiciado producido por plantas de energía mediante el bombeo directo hacia los hogares. Actualmente más del 60% de los hogares daneses son calentados de esta forma.
- El gobierno invirtió intensivamente en sistemas de energías renovables, especialmente la energía eólica. Actualmente el 21% de la producción de energía proviene de granjas eólicas. Es más, lideran el mercado mundial de tecnología eólica, lo que se convirtió en otro producto de exportación. Ésta industria ha creado más de 20,000 empleos.¹¹⁰
- Las campañas de concientización ayudaron a las personas a comprar aparatos electrodomésticos que fueran energéticamente eficientes. Actualmente más del 95% de estos nuevos aparatos tienen una eficiencia evaluada de “A”. (donde “A” es la mejor y “G” es la peor)
- Empezaron a perforar y encontraron petróleo y gas natural dentro sus aguas en el Mar del Norte.
- En 2005 el gobierno comprometió \$1 billón de dólares para desarrollar e integrar mejores tecnologías solares y de celdas de combustible.

Dinamarca, pionera

Horns Reef es el parque eólico marino número 11 que Dinamarca construye desde 1991, todos ellos son construidos mar adentro. Los vientos marinos del bravo Mar del Norte cubren un total de 398 MW en los 11 parques, el 12 % de los 3.100 MW de energía eólica generada en Dinamarca en 2006.¹¹¹

¹¹⁰ Ídem.

¹¹¹ Consumer, “Electricidad Mar Adentro”, España, 2004.
<http://revista.consumer.es/web/es/20041201/medioambiente/>

El primer parque eólico marino, compuesto por 11 aerogeneradores, se construyó en Dinamarca en 1991 en el mar Báltico y, en 2002, tras la puesta en marcha de varios parques con distinta potencia, se inauguró el parque de Horns Rev,¹¹² el más grande del mundo con 80 aerogeneradores y con una potencia instalada de 160 MW.

Figura 23. Granja eólica Horns Reef.



FUENTE: Consumer, 2004.

Tras los años de uso de energía eólica marina en Dinamarca se puede concluir que, aunque se ha requerido una importante inversión económica, la producción de electricidad es más estable y un 20% superior a la energía eólica terrestre.

Además, la vida útil del parque, con un buen mantenimiento, puede llegar a duplicarse. En la actualidad el 50% del consumo eléctrico familiar danés proviene de este tipo de energía.

Resultados

Dinamarca es una nación pequeña geográficamente, con una población de cerca de 5.5 millones, así que esto debe ser tomado en cuenta cuando se compara con otros países de mayor población.

De cualquier modo, los logros daneses son impresionantes. No hay que olvidar que en 1973 Dinamarca dependía en un 99% del petróleo extranjero. Al día de hoy producen suficiente energía para cubrir todas sus necesidades y venden su energía excedente a otros países. Sus programas de conservación de energía han sido tan exitosos que durante los pasados treinta años, aún con la extensa modernización y el incremento del 7% del incremento de su población, su uso de energía anualmente ha permanecido básicamente igual.

¹¹² Ídem.

Aunque, Dinamarca esté entre los países con mayores impuestos en el mundo, también tiene uno de los más altos estándares de vida. Es más, recientes encuestas muestran que la mayoría de los daneses pagarían impuestos más elevados en orden de permanecer libres de la dependencia de los combustibles fósiles.

En el 2007 el gobierno Danés se impuso varias metas a futuro para el país: Esperan ser capaces de proveer el 75% de su consumo de energía de granjas eólicas para 2025. “Nosotros apuntamos a hacer que Dinamarca sea independiente del petróleo, gas y carbón en el largo plazo”, dijo el Primer Ministro Danés Anders Fogh Rasmussen,¹¹³ y un miembro del parlamento Danés añadió “No debe de ser torpe, no debe de ser aburrido, y no tenemos que renunciar a nuestro estilo de vida. Solo tenemos que ser un poco más inteligentes acerca del modo en que vivimos”.¹¹⁴

113 Ibídem 107.

114 Ídem.

2.9 De las energías renovables, ¿cuáles son una alternativa real para México?

Las energías renovables se definen como aquellas fuentes de energía que son técnicamente sustentables, sin daños considerables al medio ambiente. Entre éstas se encuentran la energía eólica, la solar, la geotérmica, la leña, la biomasa, el carbón vegetal sustentable y la energía hídrica.

En el capítulo anterior se mencionó el tipo de tecnología usada en cada uno de estos tipos de energía, así como su estado actual en el país, es por esto, que ahora se hace prioritario analizar el potencial de cada una de estas energías en nuestro país, si queremos encontrar una alternativa al uso de hidrocarburos en nuestra política energética nacional, es necesario que se analice cuáles son las alternativas que nuestro país ofrece en mayor cantidad para que así pueda desarrollarse un plan orientado a la explotación de estas fuentes alternas. A continuación se analizan los potenciales de cada uno de los tipos de energía antes mencionadas.

2.9.1 Potencial bioenergético.

En 1985 se estimó, a nivel nacional, un potencial de cogeneración de electricidad en la industria azucarera de 15.2×10^9 kWh.¹¹⁵ (ver tabla 6)

Tabla 6. Producción de caña y su correspondiente potencial de cogeneración.

Región	Producción de caña (10 ⁵ TCM*)	Potencial de cogeneración (10 ⁹ kWh)
Occidente	11.2	4.8
Oriente	19.4	8.3
Centro	2.9	1.2
Sureste	2.2	0.9
<i>Total</i>	35.7	15.2

*Tonelada de caña molida.

FUENTE: Potencial de cogeneración de electricidad en la industria azucarera. (1981).

En 1991 se reportó que, de la superficie total del país, el 21% era arbolada cubierta de bosques y selvas altas y medianas. La cantidad de madera en pie en la superficie anterior, en 1983, era de 3,200 millones de m³ en rollo, con incrementos estimados de 53.8 millones de m³ por año. Las entidades con el recurso de bosques más importantes son: Chihuahua y Durango, y con el de la selva Campeche, Chiapas y Veracruz.

115 Navia J., et al. Potencial de cogeneración de electricidad en la industria azucarera. Memorias de la XI Reunión Nacional de Energía Solar, 30 de septiembre al 2 de octubre de 1981, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 304-308. Villahermosa, Tabasco, México.

El 14% de la superficie del país estaba cubierta por selvas bajas, chaparrales y mezquiales, el 29% por matorrales, y el restante 36% eran áreas perturbadas y no-forestales. Por aquellos años a excepción del bagazo de caña, la generación de residuos agrícolas, forestales o madereros no estaba cuantificada con exactitud. En lo que respecta a la basura se estimó que se generaban 56,500 toneladas diarias en el país, de las cuales se recolectaban un 75%.¹¹⁶

En 1998 se reportó que la generación de residuos sólidos aumentó de 300 gramos/habitante/día en la década de los 50 a más de 815 gramos en promedio en 1997. En 1998 la generación nacional de residuos se estimó en 82,600 toneladas diarias. Por ese año se recolectaba únicamente el 77% del total de los residuos generados, por lo cual quedaban dispersas 19,000 toneladas. Del total generado sólo se depositaba el 35% en sitios controlados, es decir, 28,900 toneladas, lo que indicaba que 53,700 toneladas se disponían diariamente a cielo abierto en tiraderos no controlados o clandestinos.¹¹⁷ (ver tabla 7)

Tabla 7. Generación anual de residuos sólidos por zona geográfica en el país.

Zona	Población Proyección 1998	Generación per cápita (kg/hab/día)	Generación diaria (ton)	Generación anual (ton)
Centro	50,613,739	0.783	39,618	14,460,535
DF	8,627,273	1.329	11,467	4,185,464
Norte	19,026,502	0.891	16,949	6,186,454
Sur	12,270,160	0.679	8,328	3,039,721
Frontera Norte	6,612,245	0.955	6,318	2,305,973
Nacional	97,149,919	0.851	82,680	30,178,148

Fuente: Situación actual del manejo integral de residuos sólidos en México, (1998).

En 2002 se reportó el potencial energético de la biomasa.¹¹⁸

Tabla 8. Contenido energético por recurso de biomasa.

Recurso de biomasa	Contenido energético (Peta Joules/año)
Leña	254.7
Bagazo	69.9
Residuos forestales	5.8
Residuos agrícolas	605.4
Residuos pecuarios	919.8
Basura urbana	0.08
Aguas residuales	4.1
Nacional	1,851.0

Fuente: Potencial energético de la biomasa en México. Noviembre de 2002.

Tabla 9. Composición de los residuos por zona geográfica en porcentajes.

116 Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Perspectivas de las fuentes no convencionales de energía dentro del Sector Eléctrico y su posible contribución a la generación eléctrica en diferentes regiones del país. Reporte IIE/10/14/2928/01/F, pp. 167-168. Cuernavaca, Morelos, México, 1994.

117 Sancho, J., Rosiles G. Situación actual del manejo integral de residuos sólidos en México. Revista Federalismo y Desarrollo. Año 11, no. 62, abril-junio, 1998, Tema: residuos sólidos municipales, pp. 3-16. México, D. F.

118 Arvizu J. L., et al. Potencial energético de la biomasa en México. Memorias de la XXVI Semana Nacional de Energía Solar, 11 al 15 de noviembre de 2002, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 601-606. Chetumal, Q. Roo, México.

Subproducto	Frontera Norte	Norte	Centro	Sur	DF
Cartón	3.973	4.366	1.831	4.844	5.360
Residuos finos	1.369	2.225	3.512	8.075	1.210
Hueso	0.504	0.644	0.269	0.250	0.080
Hule	0.278	0.200	0.087	0.350	0.200
Lata	2.926	1.409	1.700	2.966	1.580
Material ferroso	1.183	1.476	0.286	0.399	1.390
Material no ferroso	0.226	0.652	0.937	1.698	0.060
Papel	12.128	10.555	13.684	8.853	14.580
Pañal desechable	6.552	8.308	6.008	5.723	3.370
Plástico película	4.787	5.120	1.656	1.723	6.240
Plástico rígido	2.897	3.152	1.948	1.228	4.330
Residuos alimenticios	26.972	21.271	38.538	16.344	34.660
Residuos de jardinería	16.091	19.762	7.113	26.975	5.120
Trapo	1.965	2.406	0.807	2.157	0.640
Vidrio de color	2.059	0.934	4.248	0.599	4.000
Vidrio transparente	4.590	5.254	5.051	3.715	6.770
Otros	11.500	12.267	12.326	14.102	10.410
Total	100	100	100	100	100

Fuente: Situación actual del manejo integral de residuos sólidos en México, (1998).

Recientemente la Gerencia de Energías No Convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas (GENC-IIE) elaboró la versión preliminar de los mapas del recurso biomásico anual en el ámbito municipal a partir de la información censal agropecuaria AGROS, derivada del VII Censo Agropecuario realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en 1991.

Estos mapas se realizaron en tres variantes, la primera considerando el potencial energético de la biomasa derivado de los desechos agrícolas obtenidos a partir de la superficie cosechada de arroz, caña de azúcar, cebada, frijol, maíz, sorgo y trigo; la segunda considerando el estiércol producido y su posterior conversión a biogás para las siguientes especies: ganado asnal, bovino, caballar, caprino, mular, ovino y porcino, así como aves de corral; y finalmente la tercera variante considera la suma de las dos primeras. Estos mapas se encuentran en su versión preliminar ya que la información de la cual fueron derivados data de hace 17 años.

2.9.2 Evaluación del potencial eoloenergético.

En 1983 se publicó el Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe,¹¹⁹ en el cual se presenta el mapa del potencial eólico en W/m^2 para la República Mexicana. En este mapa se anotan la velocidad media anual en m/s y el factor de forma k de la función de densidad de probabilidad (f.d.p.) de Weibull para cada una de las estaciones consideradas. La información empleada para elaborar el mapa consistió en la velocidad media del viento en m/s proveniente de 62 estaciones, la velocidad media del viento dominante en m/s de 66 estaciones y velocidad máxima del viento en m/s de 80 estaciones.

La altura de los sensores en las estaciones es muy variable y no se conocía este dato para 34 estaciones. La GENC-IIE calculó el parámetro de forma k de las 62 estaciones utilizando valores disponibles de velocidad media y velocidad máxima. El método aplicado fue una variante de la milla más rápida.

Según la propia Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) el valor del Atlas es esencialmente cualitativo. En 1987, se elaboró un trabajo sobre el potencial eólico en México a partir de información de velocidad y dirección de viento en la red de observatorios del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) observada de 1971 a 1979. En este trabajo se presenta como resultado mapas con la regionalización del potencial energético del viento para su aprovechamiento en el bombeo de agua y la generación eléctrica y los listados con el potencial eólico estimado e información climatológica de cada observatorio.¹²⁰

En 1989 se realizó un estudio de los patrones estacionales de la velocidad y dirección del viento a nivel nacional a partir de información de la red de observatorios del Servicio Meteorológico Nacional recabada entre 1971 y 1979. Esta información permitió conocer los meses de mayor intensidad del viento en las diferentes regiones geográficas del país.¹²¹

En 1990 se publicaron dos artículos sobre la evaluación del recurso eólico, el primero sobre las perspectivas de utilización de la energía eólica en México y el segundo sobre la evaluación del potencial del viento en el Ciprés, San Luís Potosí

119 Organización Latinoamericana de Energía. Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe, volumen I. México. Programa Regional de Energía Eólico. Quito, Ecuador, 1983.

120 Reyes, O. Atlas eólico preliminar de la República Mexicana, Universidad Veracruzana, Facultad de Física. Tesis de Licenciatura. Xalapa de Enríquez, Ver., México, 1987.

121 Saldaña R., Caldera, E. Evaluación de los patrones estacionales de velocidad y dirección de viento en las diferentes zonas geomórficas del territorio nacional. Memorias de la XIII Reunión Nacional de Energía Solar, 2 al 6 de octubre de 1989, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 69-74. Morelia, Mich., México.

En el primer artículo se presenta el esquema general del viento en México, se delimitan las principales regiones con recurso eólico y se describe el comportamiento del viento en zonas con potencial comprobado. En el segundo artículo se presentan los valores de velocidad promedio mensual, factores k y c de la f.d.p. de Weibull y la potencia disponible y aprovechable para los años de 1979 a 1981 en el Ciprés, S.L.P.¹²²

En 1991 se publicaron resultados sobre el comportamiento del viento en la zona costera norte y porción insular del estado de Quintana Roo. Estos resultados se obtuvieron a partir de mediciones anemométricas realizadas entre finales de 1989 a principios de 1991, en 8 sitios, obteniéndose sobre una base mensual gráficas de velocidad media, densidad de potencia disponible en W/m^2 y porcentajes de tiempo con vientos útiles.¹²³ (ver tabla 10)

Tabla 10. Velocidades y densidades de potencia medias anuales estimadas a 10 metros de altura en los diferentes puntos de medición.

Lugar	Velocidad media (m/s)	Densidad de potencia media (W/m^2)
Punta Sam	6.4	242.9
Puerto Juárez	5.0	126.7
Puerto Morelos	4.6	102.1
Chemuyil	4.0	71.4
Leona Vicario	1.8	10.7
Coba	1.5	9.0
San Gerváseo	2.5	22.6
<i>Chen-Rio</i>	6.2	223.2

Fuente: Análisis del comportamiento del viento en la zona costera norte y porción insular del estado de Quintana Roo (1991).

En 1992 se realizó un estudio del potencial eólico en el Cerro de La Virgen, Zacatecas, con objeto de realizar la configuración topológica de una central de 2 MW.¹²⁴ En dicho estudio se determinó en forma mensual, estacional y anual a 10 y 30 metros de altura la velocidad promedio, desviación estándar, parámetros k y c de la f.d.p. de Weibull, densidad de potencia en W/m^2 , energía disponible en kWh/m^2 y porcentaje de tiempo con velocidades ≥ 5 m/s.

122 Evaluación del potencial eólico en El Ciprés, S. L. P., pp. 219-224. 1ª Reunión de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina. ISBN-968-6194-32-0 0167-90014-A0022. San Luis Potosí, México, 1990.

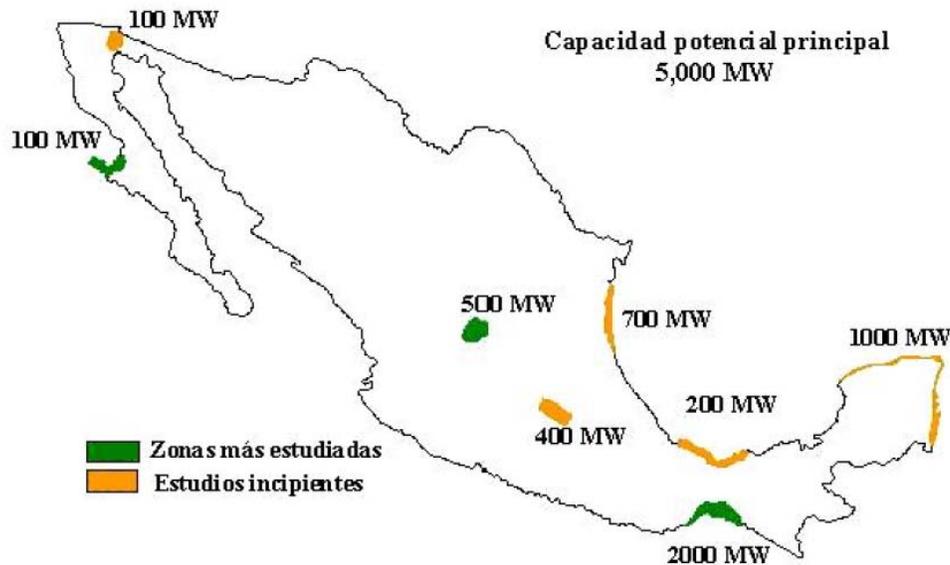
123 Caldera, E., Saldaña R. Análisis del comportamiento del viento en la zona costera norte y porción insular del estado de Quintana Roo. Memorias de la XV Reunión Nacional de Energía Solar, 30 de septiembre al 4 de octubre de 1991, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 102-106. Zacatecas, Zac., México.

124 Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Informe al municipio de Zacatecas sobre la terminación de la 1ª. Etapa del proyecto de la central eólico del cerro de La Virgen. Informe IIE/FE/10/14/5010/I-02/F. Cuernavaca, Morelos, México, junio 1994.

En 1995 se publicó el documento *Mexico Wind Resource Assessment Project*, en el cual presenta como resultado mapas donde se aprecian zonas en las que el potencial eólico puede ser aprovechado energéticamente. Este estudio incluye comparaciones en la estimación de la densidad de potencia del viento con el atlas de OLADE publicado en 1983. Según se observa en el estudio existe una gran diferencia entre los valores de OLADE y *Nacional Renewable Energy Laboratory* (NREL).¹²⁵

En 1998 se publicó un mapa con las regiones con posibilidades en México para la construcción de centrales eoloeléctricas (figura 24) y realizó una comparación del potencial eólico de la zona de La Ventosa, Oaxaca con otros sitios con velocidades de viento intensas a nivel mundial. En esta publicación se indican los sitios donde la CFE y el IIE han llevado a cabo mediciones anemométricas dentro del territorio nacional (figura 25).¹²⁶

Figura 24. Regiones con posibilidades en México para la construcción de centrales eoloeléctricas.



Fuente: Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica, (1998).

125 Schwartz, M., Elliot D. Mexico Wind Resource Assessment Project. National Renewable Energy Laboratory. Documento NREL/TP-441-7809. Washington, D. C., March, 1995.

126 Borja M., et al. Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica, pp. 120-124, primera edición, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa Universitario de Energía. ISBN 968-36-7433-X. México, 1998.

Figura 25. Sitios donde la CFE y el IIE han llevado a cabo mediciones anemométricas dentro del territorio nacional.



Fuente: Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloelectrica, (1998).

En 2001, se reportó el estudio del potencial eólico en Santa Catarina, Nuevo León. En dicho estudio se explora el potencial eólico para la generación eoloelectrica en la cuenca Monterrey-Saltillo. El estudio se basa en datos meteorológicos obtenidos durante un año en Santa Catarina, N. L. Los datos fueron obtenidos con una estación automatizada en intervalos de 30 minutos a una altura de 23 metros sobre el suelo y fueron extrapolados a 50 metros. De ahí se obtuvo la distribución de las velocidades y los perfiles diurnos promediados de la velocidad y dirección del viento.

Para la estimación de la potencia generable en el sitio se emplearon las curvas de potencia de 13 modelos de aerogeneradores disponibles en el mercado con potencias nominales entre 225 kW y 1.5 MW. Los factores de planta teóricos arrojados por este análisis fluctuaron entre 19 y 26%, teniéndose factores más altos en aerogeneradores de potencia nominal más bajos. Un análisis económico tuvo como resultado la factibilidad económica de la generación eoloelectrica con un costo promedio del orden de 6 a 7 US¢/kWh, dependiendo de la tasa de descuento y el horizonte financiero utilizados, sin considerar incentivos gubernamentales.¹²⁷

Entre mediados de 2002 y finales de 2003 se llevó a cabo la evaluación del potencial energético de los recursos eólico y solar para la generación de energía eléctrica en los cinco polos de desarrollo identificados en el Plan FIDENOR.

¹²⁷ Probst O., et al. Estudio del potencial eólico en Santa Catarina, N. L., pp. 515-516. Memorias de la XXV Semana Nacional de Energía Solar, octubre de 2001, Asociación Nacional de Energía Solar, San Luis Potosí, S. L. P., México.

Dentro de este estudio se llevaron a cabo mediciones de la velocidad y dirección de viento en cinco sitios ubicados en la franja fronteriza del estado de Nuevo León con apoyo económico del Banco Norteamericano de Desarrollo (NADB) y del Fideicomiso para el Desarrollo del Norte del Estado de Nuevo León (FIDENOR).¹²⁸

Los valores de velocidad promedio mensual de viento observados en cada uno de los sitios de medición se encuentran entre los siguientes rangos:

- Anáhuac 2.62 a 4.63 m/s (a 27 m de altura)
- Cerralvo 3.79 a 5.23 m/s (a 54 m de altura)
- Colombia 3.67 a 4.76 m/s (a 35 m de altura)
- Loma Alta 4.38 a 5.84 m/s (a 42 m de altura)
- Vallecillos 3.33 a 5.44 m/s (a 42 m de altura)

Dadas las características de recurso eólico, la zona que reporta las mejores posibilidades para la implementación de aerogeneradores se ubica en las inmediaciones de Loma Alta. Sin embargo, en los alrededores de Cerralvo, específicamente en la zona montañosa ubicada en el extremo occidental del área estudiada, se obtuvo a través de la estimación del potencial de generación, valores de factor de planta entre 20 y 30%, lo que conlleva a costos nivelado de generación entre 7 y 8 US¢/kWh, los cuales son costos competitivos.

Actualmente están disponibles en Internet mapas del recurso eólico elaborados por NREL para diferentes regiones de México en W/m^2 de los cuales se obtuvieron los datos de la siguiente tabla.¹²⁹

Tabla 11. Recurso eólico para diferentes regiones de México en W/m^2 .

Región	Altura (m)
Baja California (zona fronteriza)	50
Oeste de Sonora (zona fronteriza)	50
Áreas fronterizas del Noroeste de México	50
Este de Sonora (zona fronteriza)	50
Baja California Sur	30
Noroeste de Baja California Sur	30
Oeste-central de Baja California Sur	30
Península de Yucatán	30
Costa Suroeste de la península de Yucatán	30
Costa noroeste de la península de Yucatán	30

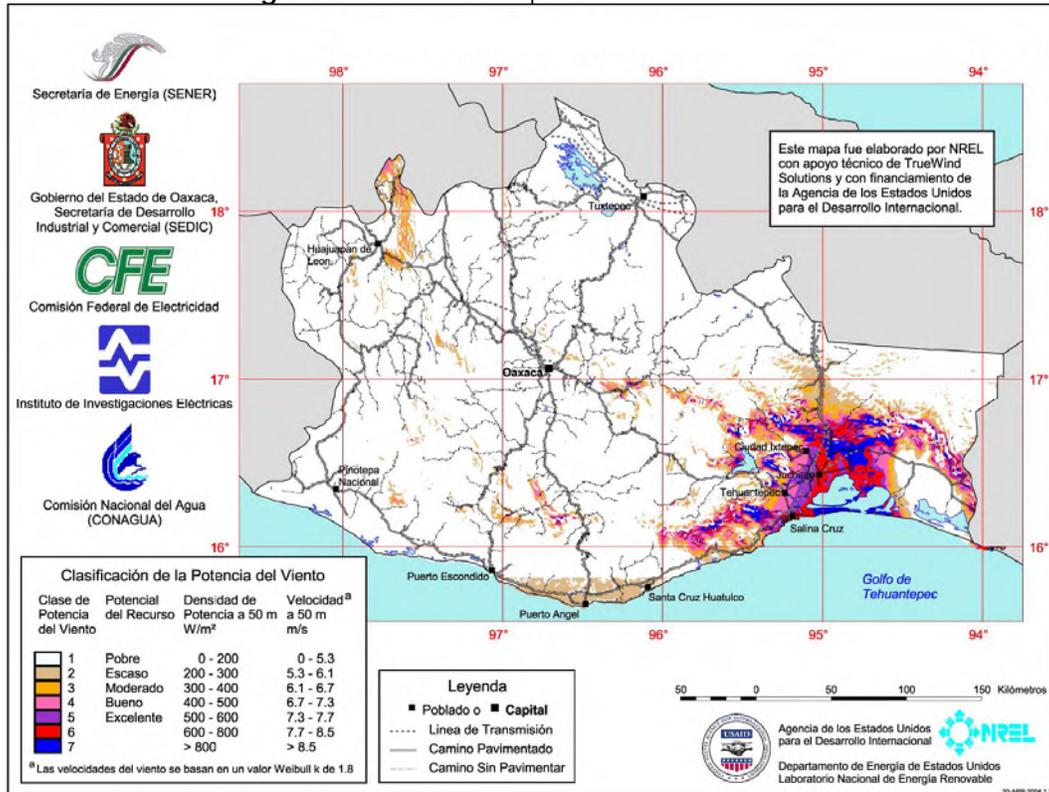
FUENTE: NREL. [2007]

¹²⁸ Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Evaluación del potencial energético de los recursos eólico y solar para la generación eléctrica en los cinco polos de desarrollo identificados en el Plan FIDENOR. Reporte IIE/01/14/12325/I006/F/DI. Cuernavaca, Morelos, México, Noviembre 2003.

¹²⁹ NREL. Mapas del recurso eólico para diferentes regiones de México. Disponibles al público en la página de Internet: www.re.sandia.gov/en/ti/tifs.htm.

A principios de 2004 NREL publicó el *Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca* en el cual se presentan los mapas del recurso eólico del estado de Oaxaca y la región ístmica en W/m^2 a 50 metros de altura.¹³⁰ Según este estudio el 7.3% del estado (6,637 km^2) cuenta con recurso eólico de bueno a excelente ($\geq 400 W/m^2$).

Figura 26. Oaxaca mapa de recursos eólicos.



FUENTE: Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca (1994).

Actualmente están a disposición del público en general a través de Internet,¹³¹ 17 mapas del potencial eólico en W/m^2 a 10 metros de altura para: Isla del Carmen, Campeche, Pachuca, Hidalgo, La Venta, Oaxaca, Playa Paraíso, Quintana Roo, Moroncarit, Sonora, Laguna Verde, Veracruz y La Virgen, Zacatecas.

A principios de 2004 dio inicio el proyecto Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México dentro de la Gerencia de Energías No Convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas, copatrocinado por el *Global Environment Facility* (GEF) dentro del cual se identificarán 11 sitios en la República Mexicana para la instalación de torres anemométricas con objeto de evaluar su potencial eólico. La medición en estos sitios se llevará a cabo a 20 y 40 metros de altura.

130 Elliot D., et al. Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca. National Renewable Energy Laboratory. Documento NREL/TP-500-35575. Abril, 1994.

131 IIE. Mapas del Recurso Eólico para diferentes zonas del país. Disponibles al público en la página de Internet: <http://genc.iae.org.mx/genc/>.

2.9.3 Evaluación del potencial minihidráulico.

Potencial pequeño, mini y mico hidroenergético

Con base en proyectos desarrollados en nuestro país ó en otras partes del mundo en las ultimas décadas, se propone modificar los rangos utilizados por CONAE para hacerlos más flexibles y más cercanos a las diferentes tecnologías y usos finales de la energía.

Los nuevos límites propuestos son como sigue:

- Microhidro < 100 kW
- Minihidro 100 < kW < 1,000
- Pequeña 1 < MW < 30

Las *microhidráulicas* se desarrollan por lo regular para la conversión a energía mecánica en el medio rural. Las *minihidráulicas* se desarrollan para la conversión a energía mecánica y/o eléctrica. Por lo general operan en red aislada. Las *pequeñas* centrales se desarrollan para la conversión a energía eléctrica para auto abasto y están interconectadas a la red pública.

En 1991 la Gerencia de Energías No Convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas reportó que en lo relacionado con los recursos hidroenergéticos con que contaba el país en aquel entonces, la Comisión Federal de Electricidad había realizado varias evaluaciones. En aquel año el último estudio indicaba de los 581 posibles proyectos hidroeléctricos identificados, 171 registraban menos de 10 MW de potencia media. En esas fechas los estudios no incluían los recursos de pequeña escala, con potencia inferior a 5 MW, que eran los más adecuados para la implantación de pequeñas centrales hidroeléctricas.¹³²

Hace algunos años la Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía (CONAE) publicó un documento en el cual se presenta una lista de centrales en operación propiedad de CFE y Luz y Fuerza del Centro (< 5 MW) con potencias de placa de 0.38 a 3.6 MW que acumulan un total de 37.61 MW, una lista de centrales minihidráulicas en operación independientes (< 5 MW) con potencias de placa que van de los 12.3 kW a los 2.5 MW, con un total instalado de 43.57 MW; una lista de centrales de CFE fuera de servicio (<5 MW) con potencias entre 0.113 a 3.5 MW con un total acumulado de 37.075 MW; una lista de proyectos de equipamiento en infraestructura hidráulica no propiedad de la CFE con potencias a instalar que van de los 1.81 a 60 MW, con capacidad total de 255.26 MW de los cuales 30.6 MW corresponderían a proyectos minihidráulicos; y una lista de proyectos de equipamiento en infraestructura no propiedad de CFE con potencias a instalar entre los 1.3 a 85.0 MW con un total acumulado de 381 MW, de los cuales 61 MW serían proyectos minihidráulicos.

¹³² Comisión para el Ahorro de Energía. Estudio de la situación actual de la Minihidráulica nacional y potencial en una región de los estados de Veracruz y Puebla. México, (sin fecha).

Asimismo se presenta un estudio hidrológico que abarca parte de los estados de Puebla y Veracruz, así como una pequeña porción del estado de Hidalgo (26,376 km²). La zona está comprendida entre los meridianos 96° 15' y 98° 40' longitud oeste y los paralelos 19° 09' y 21° 10' latitud norte.¹³³

Cuando se hizo la mal llamada “expropiación” (pues se trató en realidad de una compra) de la industria eléctrica, por decreto del presidente Adolfo López Mateos el 27 de septiembre de 1960, la nación adquirió entre otros bienes, 44 pequeñas centrales hidroeléctricas privadas, con potencias instaladas de alrededor de 1 MW. Estas centrales actualmente son obsoletas con más de 60 años de servicio. Se ha iniciado la modernización de alguna de ellas. Se sabe también de la existencia de 77 unidades privadas con una potencia global de 43.5 MW que han operado también por mas de 60 años y cuyo estado de conservación es similar a la que guardan las plantas de la CFE ó la Compañía de Luz y Fuerza.

En el río Grijalva se construyeron cuatro plantas: Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas cuya potencia instalada es de 4,870 MW, incluyendo la reciente ampliación de las tres unidades que estaban pendientes de la Central Chicoasén ó Moreno Torres. En el río Balsas se cuenta con tres centrales más (Caracol, Infiernillo y Villita) que suman 1,895 MW adicionales para un total global de 6,765 MW.¹³⁴

Este valor representa el 66.3 % del total. Es decir, *en siete hidroeléctricas se concentra el 66.3% del potencial explotado a la fecha*. Se espera que los 6,166 MW que se tienen al nivel de Factibilidad se vayan cristalizando en proyectos construidos y operando satisfactoriamente en el futuro cercano.

Estimación del potencial

Zona de Veracruz – Puebla 1995

El área estudiada cubre 26,376 km² y representa el 37 % del total del Estado de Veracruz. Los seis ríos principales son: Tuxpan, Cazonas, Tecolutla, Bobos - Nautla, Actopan y La Antigua. Estos tienen en total 57 afluentes o ríos tributarios en donde se localizaron los sitios potenciales.

Se localizaron 100 sitios en total. La potencia media de ellos es de 400 MW, es decir una potencia media promedio de 4 MW por sitio. La mayoría de los sitios aprovecha una caída o desnivel topográfico de 100 m y en ningún caso se almacena agua en la presa derivadora; es decir todas las centrales son del tipo “al hilo del agua”.

¹³³ Ibidem, pp. 190.

¹³⁴ Valdez Ingenieros S.A. de C. V. “Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía Aplicaciones en México.” Agosto 2005. pág. 5.

El resultado indica que al menos 62 sitios son viables con una potencia media total de 364 MW.¹³⁵

Zona de Orizaba – Xalapa , Veracruz 2003

Se estudió la cuenca de los ríos Blanco, Jamapa y Pescados para identificar ó revisar sitios potenciales. La diferencia de cálculo se debió a una metodología desarrollada para CONAE específicamente,¹³⁶ apoyada en hojas de cálculo en formato Excel que por primera vez permitieron realizar gran cantidad de operaciones aritméticas en corto tiempo. Se logró determinar entre otras, las dimensiones económicas de cada sitio estudiado en cuanto al gasto ó caudal que conviene instalar, el presupuesto de la obra así como la potencia económica a instalar en el ó los generadores en cuestión.

Cabe mencionar que además de los posibles nuevos sitios, se estudió la posibilidad de rehabilitar nueve pequeñas plantas hidroeléctricas en la zona de Orizaba que datan la mayoría de los años 50 con una potencia instalada de 25 MW e incluso aumentar en 8 MW la potencia instalada actual por medio del incremento del gasto aprovechable del río Blanco.

Zona de Zongolica, Veracruz 2004

Se llevó a cabo otro estudio para identificar sitios con potencial mini y micro hidráulico en la zona de Zongolica, en el estado de Veracruz.¹³⁷ A lo largo del proyecto se trabajó coordinadamente con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Comisión para el Desarrollo de Pueblos Indios (CDI) CDI y la CFE.

La zona es rica en precipitación pluvial. Se estudiaron los dos afluentes principales de la cuenca alta del río Tonto, los ríos Apatlahuaya y Moyotepec. La zona está identificada como una región con buena cobertura del servicio de energía eléctrica aunque en algunos casos, aunque existe la red eléctrica, debido a la dispersión de viviendas, se carece parcialmente del servicio eléctrico.

Hay también el caso de comunidades que no cuentan con energía eléctrica porque la red pasa lejos de donde se encuentran.

135 SE. CONAE. "Estudio de la Situación Actual de la Minihidráulica Nacional y Potencial en una Región de los Estados de Veracruz y Puebla." Dirección de Cogeneración y Fuentes no Convencionales de Energía, Coordinación Técnica. 1995. 204. pp.

136 CONAE. "Informe Final: Metodología para evaluar centrales minihidroeléctricas." Coordinación Técnica. Junio 1999. 61pp.

137 Valdez Ingenieros SA de CV." Estudio de potencial minihidráulico en Zongolica." CONAE-USAID-SNL, Coordinación Técnica. Abril 2004. 32 pp.

Tabla 12. Estimaciones de pequeño, mini ó micro potencial hidroenergético realizados por la CONAE de 1994 al 2004 en una región de los estados de Veracruz y Puebla.

Región	No. De sitios	Potencia Media (MW)	Potencia Instalada (MW)	Generación Media Anual (GWh)
Golfo (1994)	62	364		3,189.5
Orizaba – Xalapa (2003)	8		47	240.8
Zongolica (2004)	2		14	95.8
Total	72	364	61	3,526

FUENTE: *Estudio de potencial minihidráulico en Zongolica*. CONAE-USAID-SNL, Abril 2004.

Se trata de 72 sitios con una generación media anual total estimada en 3,526 GWh. Por la forma de cálculo, 62 de ellos tienen en conjunto una *potencia media* de 364 MW y los 10 restantes alcanzan 61 MW de *potencia instalada*.

Por estudios de la CONAE, se comenta que viendo los estudios de potencial macro y pequeño realizados en otros países, se sabe que estadísticamente el potencial pequeño representa el 7.13 % del macro. Si el potencial de CFE en 1994 se reportó como 159 TWh/año, esto situaba al posible potencial pequeño en 11.33 TWh/año.

Si ahora se tomara el potencial CFE del año 2000 (137.97 TWh/año), la nueva cifra ubicaría al potencial nacional pequeño mini ó micro en 9.79 TWh/año y 2,795 MW de potencia instalada.¹³⁸

Incertidumbre de las estimaciones ó estudios

Se puede decir que el proceso de estudio va a reflejar una reducción del número de sitios y de generación ó potencia originalmente detectada, se pueden presentar cambios en la estimación del potencial útil por alguna de las siguientes causas:

- Cambios hidrológicos de la cuenca
- Cambios en el uso del agua
- Cambios por disposiciones ecológicas
- Problemas con tenencia de la tierra
- Problemas geológicos

138 Valdez Ingenieros S.A. de C. V. "Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía Aplicaciones en México." Agosto 2005. Pág. 7.

Por ultimo es importante resaltar o siguiente:

Sólo se ha estudiado una pequeña región del territorio nacional con fines de evaluación de potencial pequeño, mini ó micro hidroenergético. Existen regiones ricas en potencial en estados como Guerrero, Oaxaca, Chiapas y resto de Veracruz. Por lo que no es conveniente asumir como confiable la estimación estadística del potencial pequeño, mini ó micro hidroenergético con base en cifras estadísticas.

El país cuenta con un potencial macro hidroeléctrico de 137,977 GWh/año y una potencia de 52,427 MW en 583 sitios o proyectos. La explotación de dicho potencial en 72 centrales era en el año 2000 del 18.2 % en términos de generación media anual y del 19.4 % en términos de potencia instalada.

La CFE sólo considera atractivo el estudio de proyectos cuya capacidad de generación sea mayor a 40 GWh/año. La CFE estima que existe un gran número de sitios con capacidad inferior 40 GWh/año pero que no son útiles para satisfacer las demandas del Sistema Eléctrico Nacional.

Sólo se conoce una porción de los estados de Veracruz y Puebla. El área estudiada fue de 26,376 km² y representa el 37 % del Estado de Veracruz. Corresponde a las cuencas de los ríos: Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Bobos - Nautla, Actopan y La Antigua. Un total 57 afluentes o ríos tributarios en donde se localizaron los sitios potenciales.

Se trata de 72 sitios con una generación media anual total estimada en 3,526 GWh. Se sabe que 62 de ellos tienen en conjunto una *potencia media* de 364 MW y los 10 restantes alcanzan 61 MW de potencia instalada.¹³⁹

2.9.4 Evaluación del potencial solar.

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), como parte del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética publicó en 1985 el *Atlas Preliminar de Climatología Solar de América Latina y el Caribe*,¹⁴⁰ dentro del cual se presentan para México los mapas mensuales de radiación solar máxima total y directa en W/m². La información empleada para la elaboración de los mapas consistió en la heliofanía efectiva media diaria mensual en horas de 62 estaciones durante el período de 1971 a 1975. Los mapas fueron trazados con apoyo de estaciones de los Estados Unidos en la zona fronteriza norte y de Guatemala en la frontera sur.

139 Valdez Ingenieros S.A. de C. V. "Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía Aplicaciones en México." Agosto 2005. Pág. 11.

140 Organización Latinoamericana de Energía. Atlas Preliminar de Climatología Solar de América Latina y el Caribe. México (versión a revisión). Programa Latinoamericano de Energía Solar. Quito, Ecuador, 1985.

Según los autores los resultados de este trabajo se comparan satisfactoriamente con los trabajos de Galindo I. y Chávez A.: *Estudio del Clima Solar en la República Mexicana, I Radiación Solar Total, México, 1975*; Almanza R. y López S.: *Radiación Solar Global en la República Mexicana Mediante Datos de Insolación, UNAM, México, 1975*; y Fernández J. L. y Estrada V.: *Cálculo de la Radiación Solar Instantánea, UNAM, México, 1982*.

El Programa Universitario de Energía de México de la UNAM publicó en 1991 el *Atlas de Radiación Solar* para México.¹⁴¹ Este atlas consta de 12 cartas las cuales presentan las isolíneas de radiación solar global en MJ/m² y la altura sobre el nivel medio del mar. Para la elaboración de las cartas se emplearon datos del satélite GOES y el modelo estadístico de Tarpley.¹⁴² Según los autores el error estándar de la estimación, con respecto a datos piranométricos de superficie es de 3 a 5%. En 1991 se publicó el *Atlas Solar de la República Mexicana* dentro del cual se encuentra una síntesis histórica de los estudios desarrollados sobre radiación solar en México.¹⁴³ Este atlas presenta los mapas de: soleamiento efectivo promedio, irradiación solar global media diaria en cal/cm²·día, la irradiación solar directa media diaria en cal/cm²·día y la irradiación solar difusa media diaria en cal/cm²·día, a nivel mensual, estacional y anual. Este trabajo reporta que en el 5% del país se recibe niveles de irradiación solar de menos de 400 cal/cm²·día en promedio; en el 57% entre 400 y 500 cal/cm²·día; y en el 38% más de 500 cal/cm²·día.

En 1994 se publicó el libro *Ingeniería de la Energía Solar*, en el cual se incluyen mapas mensuales y anuales del recurso solar (promedio de radiación total en Langleyes/día). Según el mapa correspondiente al promedio anual las regiones de mayor radiación en México son el norte de Sonora y Chihuahua, las cuales son propicias para fines de instalaciones que requieran de una incidencia alta de energía solar. Existen otras regiones bastante definidas con más de 450 ly/día en el año: una que abarca Durango, Zacatecas, Aguascalientes, la mayor parte de Guanajuato y el noroeste de Jalisco, otra que comprende una parte de Puebla, y otra, bastante amplia de Oaxaca.¹⁴⁴

En 2000 la Gerencia de Energías No Convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas elaboró de los mapas de irradiancia global, directa y difusa empleando la información de irradiación extraterrestre y global media mensual de 117 sitios en la República Mexicana proporcionada por la Universidad Veracruzana usada para la elaboración del Atlas Solar de la República Mexicana por parte de la Universidad de Colima y la Universidad Veracruzana, obtenida a partir de imágenes de satélite.

141 Galindo, I. y Valdés M. –México- Atlas de Radiación Solar, Documentos de Análisis y Prospectiva del Programa Universitario, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1991.

142 Galindo, I., Castro S., Valdés, M. Revista Atmósfera (1991), 4, pp. 189-201.

143 Hernández E., et al. Atlas Solar de la República Mexicana. Textos Universitarios. Universidad de Colima, Universidad Veracruzana. ISBN 968- 834-230-0. México, agosto, 1991.

144 Almanza, R., Muñoz F. Ingeniería de la Energía Solar. Colegio Nacional. ISBN 968-6664-79-5. México, 1994.

Los valores de irradiación media difusa se obtuvieron mediante la relación de Lui-Jordan aplicada a latitudes mexicanas.¹⁴⁵ Las figuras 27 a 29 muestran los mapas anuales de irradiación.

Figura 27. Irradiación solar global anual.



FUENTE: Desarrollo del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México. (2001).

Figura 28. Irradiación solar directa anual.



FUENTE: Desarrollo del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México. (2001).

145 Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Informe IIE/01/14/11778/102/A. Desarrollo del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México. 2ª Etapa. Informe Anual. Cuernavaca, Morelos, México, enero de 2001.

Figura 29. Irradiación solar difusa anual.



FUENTE: Desarrollo del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México. (2001).

En 2001, durante la XXV Semana Nacional de Energía Solar de la ANES, se presentaron los artículos *Sistema de acceso, a través de Internet, a los datos de la estación solarimétrica de la Universidad de Sonora, La radiación solar global al noreste de la Ciudad de México, Estudio de la insolación en la zona norte del Valle de México, Medición de radiación solar en Temixco, Morelos y Base Nacional de datos de radiación solar*. Según los autores del primer artículo se tiene pensado desarrollar una red de estaciones solarimétricas distribuidas en el estado de Sonora y incorporarlas para que sean visibles en el sitio Web desarrollado. Esta información cubrirá la necesidad de contar con datos confiables por parte de usuarios interesados en el aprovechamiento de la energía solar. En segundo artículo se presentan gráficas de la irradiación solar diaria en el período de enero a diciembre de 2000 en MJ/m^2 , obtenida a partir de mediciones de radiación solar global realizadas desde noviembre de 1998 a diciembre de 2000. El valor promedio mensual anual observado fue de $17.51 \text{ MJ}/\text{m}^2$ durante 1999 y para el 2000 de $17.29 \text{ MJ}/\text{m}^2$. El tercer artículo presenta los resultados del análisis de la insolación registrada del 25 de julio de 1993 al 28 de septiembre de 1994, y del 24 de marzo al 31 de julio de 1995, en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-A). El cuarto artículo se reportan algunos resultados de las mediciones de la radiación solar realizadas en el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM. Por último, en el quinto artículo se reporta que el Observatorio de Radiación Solar (ORS) del Instituto de Geofísica de la UNAM, lleva más de 30 años midiendo las diferentes componentes de la radiación solar en su estación de Ciudad Universitaria.

2.9.5 Evaluación del potencial geotérmico.

Debido a sus particulares características geológicas-estructurales. México cuenta con abundantes recursos geotérmicos. Actualmente se cuenta con una base de datos que incluye 2,332 manifestaciones geotérmicas distribuidas en 27 de los 32 estados mexicanos.¹⁴⁶

En general se clasifica a los recursos geotérmicos en recursos de alta temperatura ($T \geq 200^\circ\text{C}$) y recursos de temperatura intermedia a baja ($T < 200^\circ\text{C}$). Esta clasificación obedece a la aplicabilidad de estos recursos. Los de alta temperatura pueden utilizarse para la generación de energía eléctrica. Los de temperatura intermedia a baja son más apropiados para aplicaciones directas del calor geotérmico. Existe una amplia gama de aplicaciones directas, tanto domésticas como industriales que dependen de la temperatura del recurso.

Actualmente en México existen cuatro campos geotérmicos de alta temperatura que están siendo explotados para la generación eléctrica (Cerro Prieto, Baja California; Los Azufres, Michoacán, Los Húmeros, Puebla; y Tres Vírgenes, B.C.). La capacidad instalada total de estos campos geotérmicos es de 953 MW_e. Además, existen planes para instalar 75MW_e en Cerritos Colorados, Jalisco, en el futuro cercano.¹⁴⁷

Las aplicaciones directas del calor geotérmico en México están lejos de alcanzar su enorme potencial. Actualmente se concentran mayormente en balnearios, aunque existen algunos ejemplos de calefacción de edificios, secado de madera, invernadero y cultivo de hongos.

Estimación del Recurso

Reservas de temperatura intermedia a baja

Mercado y colaboradores (1985) efectuaron una evaluación muy gruesa de los recursos de temperatura intermedia a baja, para lo cual dividieron al país en dos grandes regiones. Una de estas regiones comprende el centro y sur del país, en donde consideraron una franja de 900 km de largo por 4 km de ancho en el Cinturón Volcánico mexicano. Supusieron un espesor del reservorio de 2 km y una temperatura media de 125 °C. Con estas consideraciones se estimó un potencial de 31,498 MW_e. La segunda región comprendió el Norte del país, principalmente el Valle de Mexicali, Laguna Salada y el Desierto de Altar con un área total de 2,000 km². Supuso un espesor del yacimiento de 1.5 km y una temperatura media de 135 °C. Con estas consideraciones estimó un potencial de 14,317 MW_e, lo cual da un total de 45,815 MW_e.

146 Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 11.

147 VI Foro Regional. Impacto Estratégico de la Energía Geotérmica y Otras Renovables en Centro América. Managua, Nicaragua, Octubre de 2005. "Situación Actual y Perspectivas de la Energía Geotérmica en México", Autor: Luis Quijano, CFE, Gerencia de Proyectos Geotérmicos.

Tabla 13. Reservas geotérmicas de 20 Estados de México.

Estado	No. de manifestaciones en el Estado	No. de manif. incluido en estimaciones de reservas	No. De localidades incluidas en reservas	Energía Térmica (kJ) intervalo 90% confianza		Reservas (kJ) intervalo 90% confianza	
Aguascalientes	48	18	7	9.43E+15	2.23E+16	2.36E+15	5.58E+15
Chiapas	14	3	3	1.83E+15	4.18E+15	4.57E+14	1.04E+15
Chihuahua	53	13	11	8.69E+15	1.33E+16	2.17E+15	3.34E+15
Colima	3	1	1	2.4E+14	1.45E+15	6.03E+13	3.63E+14
Durango	55	5	5	2.59E+15	5.60E+15	6.48E+14	1.40E+15
Edo. De México	6	5	3	2.12E+15	4.91E+15	5.30E+14	1.23E+15
Guanajuato	172	75	47	4.32E+16	5.41E+16	1.08E+16	1.35E+16
Guerrero	10	1	1	2.40E+14	1.52E+15	6.00E+13	3.80E+14
Hidalgo	76	43	28	3.48E+16	4.78E+16	8.69E+15	1.19E+16
Jalisco	391	66	41	4.96E+16	6.83E+16	1.24E+16	1.71E+16
Michoacán	71	27	24	2.29E+16	3.38E+16	5.72E+15	8.45E+15
Morelos	2	1	1	2.60E+14	1.28E+15	6.50E+13	3.20E+14
Nayarit	56	19	13	1.48E+16	2.37E+16	3.70E+15	5.92E+15
Oaxaca	12	5	4	2.27E+15	4.83E+15	5.67E+14	1.21E+15
Puebla	17	7	6	3.68E+15	6.69E+15	9.20E+14	1.67E+15
Querétaro	172	63	54	4.90E+16	6.18E+16	1.23E+16	1.55E+16
San Luis Potosí	20	7	6	5.00E+15	1.02E+16	1.25E+15	2.55E+15
Sonora	77	9	8	4.84E+15	9.80E+15	1.21E+15	2.45E+15
Veracruz	10	2	2	1.10E+15	3.20E+15	2.74E+14	8.00E+14
Zacatecas	44	12	11	9.03E+15	1.62E+16	2.26E+15	4.05E+15
Total	1310	382	276				

FUENTE: Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México, 2005.

Recientemente un nuevo intento más fino y completo por estimar las reservas geotérmicas Mexicanas de temperatura intermedia a baja ($T < 200^{\circ}\text{C}$) fue emprendido por Iglesias y colaboradores (2002). Dichos autores utilizaron el método volumétrico. Los datos necesarios fueron tomados de una compilación por Torres-Rodríguez (1993), que incluye 1,356 manifestaciones superficiales en 25 Estados. De acuerdo con la disponibilidad de datos apropiados en dicha compilación, Iglesias y sus colaboradores (2002) estimaron las energías térmicas de 297 localidades geotérmicas ubicadas en 20 Estados de México.

Posteriormente, Iglesias y Torres (2004) estimaron las energías térmicas totales, y sus reservas geotérmicas, de cada uno de los veinte Estados Mexicanos considerados por Iglesias y colaboradores (2002). En este trabajo se utilizaron los mismos datos que en Iglesias y colaboradores (2002).

Reservas de alta temperatura

En el año de 1975, H. Alonso presenta la primera estimación reportada en la literatura de los recursos geotérmicos de la República Mexicana. En ese año se tenían localizadas en el país únicamente 130 zonas hidrotermales, y se habían efectuado algunos estudios en apenas nueve de éstas. Alonso estimó una capacidad mínima de 100 MW_e en cada una de las siguientes zonas: Ixtlán de Los Hervores, Los Negritos y Los Azufres en el estado de Michoacán, La Primavera,

San Marcos, Los Hervores de la Vega y La Soledad en el estado de Jalisco, y Los Húmeros en el estado de Puebla. En Cerro Prieto estado de Baja California estimó un potencial mínimo de 500 MW_e. En las restantes 120 zonas en las que no se habían efectuado estudios, Alonso supuso que sólo el 30 % de ellas producirían fluidos de manera comercial y les asignó una capacidad media instalada de 75 MW_e. Con estas consideraciones Alonso da una estimación gruesa de los recursos de 4,000 MW_e.¹⁴⁸

En el año de 1985 H. Alonso presenta una nueva evaluación de los recursos de México con base en a los estudios y resultados de las exploraciones de la época y de acuerdo a las siguientes definiciones:

Reservas probadas: Aquellas en que los estudios y las pruebas de pozos realizadas permiten recomendar la instalación de una planta de esa capacidad con vida útil de 30 años.

Reservas probables: Aquellas zonas en las que se han hecho suficientes estudios de geofísica y geoquímica, para delimitar la probable extensión y temperatura de la zona geotérmica.

Reservas posibles: Aquellas que por manifestaciones termales en la superficie y por geología permiten inferir la posibilidad de un recurso geotérmico.

Alonso reporta que los estudios efectuados por la Comisión Federal de Electricidad indican que las reservas probadas son de 1,340 MW_e, las probables de 4,600 MW_e y las posibles de 600 MW_e lo que hace un total de 11,940 MW_e. Las reservas probadas se refieren básicamente a Cerro Prieto, Los Azufres y Los Húmeros. Las reservas probables se refieren principalmente a La Primavera, San Marcos y Los Hervores en el estado de Jalisco, zonas cercanas a Los Húmeros, Puebla, Araró, Ixtlán y San Agustín en el estado de Michoacán, San Bartolomé y Puroaguita en el estado de Guanajuato.

Después de estos trabajos prácticamente no existe en la literatura abierta ninguna publicación en relación con las reservas de México. En el año de 1994 G. Hiriart comenta en la entrevista "1000 MW de generación geotermoeléctrica, meta de la CFE para fines de este siglo" publicada en el Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas, que para el año 2010 la CFE planea alcanzar una capacidad instalada con plantas geotermoeléctricas de 2,000 MW_e "lo que podría considerarse, de acuerdo con los estudios de exploración actuales, como el límite máximo de la geotermia en México".

148 Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimacion del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Victor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. pág. 13.

Situación actual

Recursos de temperatura intermedia a baja

Actualmente la utilización de los recursos geotérmicos Mexicanos de temperatura intermedia a baja es muy reducida. La capacidad instalada es de 164.6 MW¹⁴⁹. Con esta capacidad instalada la cota inferior estimada para las reservas (2.14×10^{10} a 2.39×10^{10} MW_th) alcanzaría para más de 15,000 años.

Estos recursos se utilizan mayormente en balnearios termales, aunque existen algunas otras aplicaciones en pequeños proyectos de demostración, implementados por la CFE, en resumen, la capacidad instalada en México para la utilización directa del calor geotérmico actualmente alcanza 164.6 MW_t.

Recursos de alta temperatura

Actualmente se explotan en México cuatro campos geotérmicos (Cerro Prieto, Los Azufres, Los Humeros y Las Tres Vírgenes) con una capacidad instalada de 953 MW_e, lo cual coloca al país como el tercer lugar mundial en capacidad instalada únicamente detrás de Estados Unidos y Filipinas. En los campos mexicanos operan 36 unidades de diversos tipos con capacidades que van de 1.5 a 110 MW_e. Estas plantas son alimentadas por 197 pozos que tienen profundidades entre 600 y 4,400 m, y que producen 7,700 toneladas de vapor y 8,750 toneladas de salmuera por hora. Durante el año 2003 el vapor producido en los campos fue de 67.5 millones de toneladas y las unidades generaron 6,282 GWh, lo que representó el 3.1 % de la energía eléctrica generada en México.¹⁵⁰

Cerro Prieto, Baja California

El campo geotérmico Cerro Prieto se encuentra localizado a 30 km al sur de la ciudad de Mexicali, BC, cerca de la frontera con Estados Unidos. Este es el campo geotérmico de líquido dominante más grande del mundo que se conoce a la fecha. Su explotación comercial se inició en el año de 1973 y actualmente cuenta con una capacidad instalada de 720 MW_e (13 unidades del tipo a condensación). La central CP-1 cuenta con cinco unidades; las primeras dos, de 37.5 MW_e cada una, entraron en operación en el año de 1973. En 1979 se adicionaron otras dos unidades de 37.5 MW. En 1981 entró en operación una unidad de baja presión de 30 MWe. Las centrales CP-II y CP-III cuentan cada una con dos unidades de 110 MWe, mismas que entraron en operación entre 1986 y 1987. La central Cerro Prieto IV consta de cuatro unidades de 25 MWe cada una las cuales entraron en operación en el año 2000.

149 Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 18.

150 Gutiérrez-Negrín y Quijano-León, 2004. Cit. En. Ídem.

Durante el año de 2003 se operaron 149 pozos que produjeron 51.3 millones de toneladas de vapor (producción promedio anual por pozo 39.3 toneladas por hora) y 70.6 millones de toneladas de salmuera. Durante este año se generaron 5,111.7 GWh. Las unidades más nuevas las de Cerro Prieto IV requieren de 6.94 toneladas de vapor por MWh generado, mientras que las unidades más antiguas, las de CP I, requieren de 13.74 toneladas de vapor por MWh.¹⁵¹

Los Azufres, Michoacán

El campo de Los Azufres se encuentra localizado en la parte central de la República Mexicana, aproximadamente a 250 km al oeste de la Ciudad de México y dentro de lo que se conoce con el nombre de Cinturón Volcánico Mexicano. Los primeros estudios en este campo se efectuaron en los años cincuenta.

En el año de 1977 se perforaron los primeros pozos productores con los que se confirmó la existencia de un potencial energético de magnitud considerable. En este campo se encuentran en operación 14 unidades de diversos tipos (condensación, contrapresión y ciclo binario) con capacidades que van de 1.5 a 50 MW_e. “Los Azufres” tiene actualmente una capacidad instalada de 188 MW_e.

Durante el año 2003 estuvieron en operación 29 pozos (con profundidades entre 600 y 3,500 m) que produjeron 11.3 millones de toneladas de vapor (promedio de 44.6 toneladas por hora) y 5.15 millones de toneladas de salmuera. Toda la salmuera se reinyectó al subsuelo por medio de 6 pozos. Durante este año se generaron 851.7 GWh.

Las unidades más nuevas (por ejemplo la U-15) requiere de 6.67 toneladas de vapor por MWh generado, mientras que las unidades más antiguas, por ejemplo la U-11, requieren de 12.88 toneladas de vapor por MWh.¹⁵²

Los Húmeros, Puebla

El campo geotérmico de Los Húmeros se encuentra localizado en el extremo oriental del Cinturón Volcánico Mexicano, aproximadamente a 200 km de la ciudad de México. En el año de 1968, la CFE efectuó los primeros estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos. En el año de 1982 se perforó el primer pozo profundo con el objeto de confirmar los resultados de los estudios. En 1989 se inició la explotación comercial del yacimiento con la instalación de la primera unidad de 5 MW_e. A la fecha se han perforado más de 40 pozos y se cuenta con una capacidad instalada de 35 MW_e, en 7 unidades de 5 MW_e cada una.

151 Instituto de Investigaciones Eléctricas. “Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México”, 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 21

152 Gutiérrez-Negrín y Quijano-León, 2004. Cit. En. Ídem.

Figura 30. Recursos Geotérmicos de México.



FUENTE: Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México, 2005.

Durante el año 2003 se operaron 17 pozos los cuales produjeron 4.61 millones de vapor (producción promedio anual por pozo de 30.3 toneladas por hora) y 0.89 millones de salmuera. En este campo se generaron 285.4 GWh. Las plantas de generación requieren de un promedio de 12.65 toneladas de vapor por MWh.¹⁵³

Las Tres Vírgenes, BCS

El campo de Las Tres Vírgenes se encuentra localizado en la parte media de la península de Baja California. Las actividades de exploración en este campo se iniciaron en el año de 1982. El primer pozo exploratorio se perforó en el año de 1986. Actualmente este campo tiene una capacidad instalada de 10 MW_e.

Durante el año de 2003 CFE operó dos pozos con una producción total de 0.31 millones de toneladas de vapor (producción promedio anual por pozo de 17.58 toneladas por hora). Durante el 2003 se generaron 32.8 GWh.

Hasta el año 2003 en México se habían perforado 481 pozos, de los cuales 315 se habían perforado en Cerro Prieto, 82 en Los Azufres, 40 en Los Humeros, 9 en Las Tres Vírgenes, 13 en La Primavera y 35 en otras zonas.

¹⁵³ Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 23.

2.9.6 Barreras en el desarrollo de las energías renovables en México.

Institucionales

La planeación energética del país está basada en metodologías que evalúan sólo el costo económico de corto plazo de la generación de energía. La falta de valoración de los beneficios que las energías renovables aportan a la economía nacional, tales como la estabilidad de precios de la energía en largo plazo, y la reducción de riesgos en el abasto energético, aunado al hecho de contar con importantes recursos energéticos fósiles nacionales, por el momento, hace que las políticas y prospectivas energéticas nacionales sigan basándose en combustibles fósiles.

Legales y Regulatorios

Es necesario establecer incentivos económicos y fiscales, así como metodologías para valorar el aporte de capacidad que las fuentes renovables (en particular las de carácter intermitente). Para el caso específico de la generación de energía eléctrica, La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) solamente permite la generación a particulares, a través de permisos, para casos específicos (capítulo 5, artículo 36, y artículo 72 del reglamento), que podrán incluir transmisión, transformación y entrega de la energía eléctrica a los respectivos beneficiarios (artículo 73 del reglamento). Si bien, estas modalidades permiten la participación de particulares en la generación y transmisión de energía eléctrica, obliga a las empresas públicas de electricidad a adquirirla al menor costo económico de corto plazo. Bajo este enfoque, la generación eléctrica a través de ER resulta más costosa, comparado con fuentes fósiles convencionales, por lo que se requieren mecanismos que permitan fomentarlas, similares a los que se han implementado en los países donde su participación es relevante.

Económicos y Financieros

Dado que la planeación energética está basada en la evaluación tecnológica de generación de menor costo económico de corto plazo y que la CFE está obligada por ley a adquirir la electricidad de terceros a este costo, es necesario establecer incentivos económicos y fiscales, así como mecanismos financieros que permitan a las ER ser competitivas frente a las fuentes convencionales. Los esquemas de financiamiento en México han sido insuficientes para el fomento de las energías renovables, por lo que es necesario impulsar este tipo de mecanismos. Asimismo, cabe mencionar que de manera paralela, la SENER, el GEF y el Banco Mundial están desarrollando conjuntamente un esquema para implementar un Fondo Verde que proporciona a partir del 2006, incentivos a productores independientes de energía que la entreguen a la CFE para el servicio público.

Técnicos

A pesar de que se han hecho esfuerzos importantes para estimar el potencial de las ER en México, como los estudios para evaluar el recurso geotérmico de CFE, y los mapas eólicos y solares elaborados por el IIE, Gobiernos Estatales y Organismos Internacionales, estos esfuerzos, en ocasiones no abarcan todo el territorio nacional, o bien, no se cuantifican otros recursos, como el mareomotriz, la geotermia de baja entalpía, el biogás de residuos urbanos y agronómicos y la biomasa de plantaciones energéticas.

Recursos humanos

Los recursos humanos capacitados para labores de desarrollo de proyectos, ingeniería y operación de centrales generadoras son escasos.

Sociales/Culturales

Existe una percepción social de que el petróleo es “inagotable”. Y el público en general, y los tomadores de decisiones en particular, desconocen los beneficios ambientales de las energías renovables, por lo que las energías renovables no pertenecen al marco cultural actual, por ejemplo, existen zonas sumamente soleadas, con proveedores de equipos solares bien acreditados, donde no se instala ni un solo calentador solar de agua.

Las energías renovables no forman parte de nuestras tradiciones; es muy común subir a tender la ropa al sol, pero es imposible que la misma persona cocine con una estufa solar. En el caso de la energía eólica hay, a nivel mundial, un rechazo local por el problema de la contaminación visual; ello probablemente se reproducirá en México en la medida en que se empiecen a instalar granjas eólicas en nuestro país. El síndrome de “no en mi patio trasero” (“*not in my backyard*”, o *NIMBY*) se va extendiendo a la eólica; cuando las fotovoltaicas se vuelvan más atractivas, es probable que esto también ocurra. No así con las basadas en plantaciones energéticas (biomasa), geotermia, o mini/micro hidráulicas.

Un obstáculo aún por sortear es el tecnológico, ya que algunas de las tecnologías utilizadas actualmente para aprovechar las energías renovables, como la solar por mencionar alguna necesitan aún de un desarrollo tecnológico a fondo para poder aprovechar la energía obtenida de ese tipo de energía, y así convertirse en una opción real e importante en el aporte de energía, es por esto que se necesita de inversión, desarrollo y tiempo para poder lograr dichos avances.

El carácter de intermitencia de algunas energías renovables, disminuyen su atractivo, pensando en que no se puede depender de ellas en las horas pico de demanda de energía, lo cuál hace necesario el pensar en otro tipo de energía aprovechable para este caso, alternativa a la de los hidrocarburos, como es el caso de la energía nuclear.

3. La energía nuclear.

La fisión nuclear se ha utilizado como fuente de energía para generar electricidad desde hace cerca de 50 años, un periodo relativamente breve en comparación con algunas otras tecnologías energéticas. Durante los años 70, debido a la crisis del petróleo, las políticas energéticas de muchos países se centraron en la energía nuclear, su utilización creció rápidamente y fue considerada como una tecnología capaz de garantizar la demanda a precios competitivos.

Sin embargo, esta situación comenzó a cambiar a mediados de los 80's cuando los precios del petróleo bajaron y nuevos yacimientos de gas fueron explotados, ofreciéndole a las compañías eléctricas nuevas opciones para la generación. Además los accidentes de Three Mile Island, ocurrido en 1979 en los Estados Unidos y el de Chernobyl en el año 1986 en Ucrania, causaron un empeoramiento de la opinión pública respecto de esta fuente de energía y una disminución de la confianza en la seguridad de esta industria y en sus beneficios económicos, lo que modificó las perspectivas de desarrollo en gran parte del mundo occidental.

El aumento de los costos y los retrasos en los plazos previstos para la puesta en marcha de las nuevas centrales, consecuencia de los nuevos requisitos de seguridad exigidos a los operadores tras el análisis de estos accidentes, detuvieron la construcción de nuevas plantas en Estados Unidos y, como consecuencia, en otros países, principalmente de Europa. La repercusión de estos accidentes hizo surgir una opinión pública contraria a la energía nuclear que influyó sobre las políticas energéticas nacionales, deteniendo su desarrollo y creando una división radical entre partidarios y detractores de la opción nuclear. Sin embargo, esto no ha sido así para el caso de países donde la demanda de energía ha crecido considerablemente, como en Asia, (Japón, Corea del Sur y China, principalmente), y en Rusia, donde han continuado los programas para la construcción de nuevas centrales nucleares.

Actualmente en distintos países se ha iniciado un debate sobre la energía en el que se contempla la evaluación de la capacidad de las fuentes disponibles para cubrir la demanda esperada, la necesidad de diversificar las fuentes de suministro para disminuir la dependencia a otras fuentes de energía y el análisis de los efectos sobre el medio ambiente de las distintas opciones tecnológicas. En este nuevo contexto la energía nuclear se considera capaz de contribuir a cubrir gran parte de la demanda futura en condiciones económicamente competitivas con otras fuentes. Por tanto, es necesario realizar un análisis detallado para evaluar las posibles ventajas e inconvenientes de esta tecnología. Un aspecto importante que debe de considerarse en esta discusión es el papel de la opción nuclear como una de las tecnologías energéticas capaces de reducir el riesgo de cambio climático, evitando las emisiones de gases causantes del efecto invernadero.

3.1 Situación Actual.

Al 31 de agosto de 2004 había en todo el mundo 439 centrales nucleares en 31 países, con una potencia neta total instalada de 364,569 GW_e que generaron 2,574 TWh en el año 2003, alrededor del 16% de la electricidad mundial. Este porcentaje varía según los países, destacando entre ellos, el 80.1 % de Lituania, Francia con el 78%, Bélgica con el 55%, Suecia con el 50%, Alemania y Finlandia con el 28%, Japón y España con, aproximadamente, el 25%, EE.UU. con el 20% y Rusia con el 16%.¹⁵⁴

Desde inicios del año 2003 hasta el 31 de agosto de 2004 se conectaron a la red cinco unidades, 2 en China, una en la Republica de Corea del Sur, una en Japón y otra en Ucrania, con una potencia neta total de 4.510 MW_e además se reconectaron tres unidades en Canadá que llevaban sin funcionar largo tiempo, con 2.095 MW_e. En este mismo periodo se cerraron definitivamente diez unidades, ocho en el Reino Unido, una en Japón y otra en Alemania, con una potencia neta total de 1,168 MW_e. Actualmente se construyen 28 reactores nucleares, con una capacidad neta de 22,517 MW_e, que comenzarán su operación entre el 2008 y el 2015. En distintas fases de solicitud o planificación se encuentran 35 reactores, y otros 71 están propuestos para su construcción.¹⁵⁵

En el año 2003 la Unión Europea disponía de 145 plantas nucleares produciendo 849 TWh que suponen el 35% de su electricidad.¹⁵⁶ Sin embargo, la situación es muy diferente entre los países miembros. Austria celebró una consulta en 1978 sobre la energía nuclear en la que más de la mitad de la población decidió no poner en marcha la central que se estaba construyendo. Paradójicamente como consecuencia de la liberación del mercado eléctrico, hoy importa electricidad de origen nuclear de los países vecinos, aunque no la produce. En 1980 Suecia decidió el cierre progresivo de sus instalaciones nucleares después de un referéndum nacional, pero el proceso ha sufrido considerables retrasos al no cumplirse las condiciones impuestas posteriormente por el Parlamento para autorizar el cierre. Italia renunció a la energía nuclear en 1987 cerrando las 4 plantas que tenía en funcionamiento. Alemania, Bélgica y Holanda han adoptado oficialmente la decisión de cerrar gradualmente sus programas nucleares, encontrando algunas dificultades para cumplir el calendario previsto. Por su parte Grecia, Irlanda, Luxemburgo y Portugal no la utilizan como fuente energética.

Alemania cuenta actualmente con 18 centrales nucleares que produjeron durante el año 2003 un total de 165.1 TWh de electricidad, el 27,6% de la generación eléctrica alemana.¹⁵⁷ A inicios del 2002 Alemania decidió el abandono de la energía nuclear mediante un cierre progresivo de los reactores después de 32 años de funcionamiento, a más tardar en el 2021, la suspensión de nuevas construcciones y del reprocesado de combustibles usados a partir del 2005.

154 IAEA, 2004. Cit. en Juan A. Cabrera. Energía nuclear. Fundación OPTI y CIEMAT. España, 2005. pág. 15.

155 World Nuclear Association, 2003. Cit. en ídem.

156 Juan A. Cabrera. Energía nuclear. Fundación OPTI y CIEMAT. España, 2005. Pág. 15.

157 World Nuclear Association, 2003. Cit. en ídem. Pág. 16.

Esta decisión obliga a decidir sobre nuevas instalaciones de producción de electricidad para su sustitución y a seleccionar entre las distintas opciones energéticas existentes, en función de su costo y su impacto ambiental.

Francia dispone de 58 reactores nucleares con una potencia instalada de 63 GW_e que producen el 75% de su electricidad. El último reactor, con 1,450 MW_e, fue acoplado a la red en 1999. Esta capacidad nuclear supone para Francia una independencia energética del 50% en el 2002, comparado con la necesidad de importar el 76% de los recursos energéticos en 1973. Su nivel de emisiones es de 1.7 toneladas de CO₂ por habitante, uno de los más bajos de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), frente a la media de 2.31 toneladas de la Unión Europea.¹⁵⁸

Finlandia dispone de 4 plantas en operación que produjeron 22 TWh en el 2003, el 26% de la producción eléctrica. Dentro de la estrategia nacional para cumplir los objetivos de los acuerdos de Kyoto, las emisiones de gases de efecto invernadero deben mantener los niveles de 1990 durante el periodo 2008-2012, lo que unido a la rentabilidad económica, planteó la construcción de una nueva planta nuclear que fue aprobada por el Gobierno y refrendada por el parlamento a primeros de 2001. Los estudios de seguridad iniciales fueron ampliados para incluir el impacto de aviones de gran tamaño sobre la planta a raíz de los ataques terroristas del 11 de septiembre. El informe favorable de seguridad y la solicitud de licencia para la planta de Olkiluoto fueron presentados al Gobierno a principios de 2004. Se trata de una planta basada en el “*European Pressurized water Reactor*”, EPR, con una potencia térmica de 4,300 MW que permitirá una producción de electricidad de 1,600 MW_e, y tendrá un periodo de funcionamiento de 60 años.¹⁵⁹

El Reino Unido dispone de 27 reactores nucleares que produjeron en el 2003 un total de 85,306 GWh, el 22% de su electricidad.¹⁶⁰ Una gran parte de las centrales actuales deberán ser cerradas a lo largo de los próximos 20 años, salvo que se extienda su vida operativa.

De los diez nuevos países miembros que forman parte de la UE desde el 1 de mayo, cinco cuentan con programas nucleares, sumando 19 nuevas centrales a las existentes. El país con mayor porcentaje de generación eléctrica de origen nuclear es Lituania con un 80% y el que menos la república Checa con el 20%.¹⁶¹

Todos estos países tienen una gran dependencia de la energía nuclear y cuentan con una opinión pública a favor. Sin embargo, sus instalaciones necesitan importantes modificaciones en seguridad para adecuarlas a la normativa europea y en algunos casos su cierre definitivo antes del final previsto para su vida operativa.

158 Juan A. Cabrera. Energía nuclear. Fundación OPTI y CIEMAT. España, 2005. pág. 16.

159 World Nuclear Association, 2003. Cit. en Ídem.

160 World Nuclear Association, 2003. Cit. en Ibídem. Pág. 17.

161 Ídem.

3.2 El ciclo del combustible nuclear.

El ciclo de combustible nuclear es una cadena de procesos mediante los cuales, el combustible nuclear es producido y manipulado, antes y después de su uso en un reactor. Existen dos tipos de ciclos de combustible principalmente, el de un solo paso o abierto y el cerrado, la diferencia radica en el modo en que el combustible nuclear utilizado es manejado. Los procesos más importantes en el ciclo están resumidos en la figura 31.

Figura 31. El Ciclo del combustible nuclear.



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003.

En el ciclo de combustible de un solo paso, el combustible removido de un reactor es dispuesto en áreas de almacenamiento dentro de la misma planta, esperando su futuro confinamiento. Un ciclo de combustible cerrado también conocido como ciclo de combustible “reciclado”, permite que el material fisible desaprovechado del combustible utilizado sea recuperado y reutilizado para que produzca energía como un nuevo combustible.

3.2.1 El inicio del ciclo.

Minería y Purificación del uranio

La extracción del uranio mineral de la tierra se lleva a cabo de una forma muy similar a la de la extracción de otros recursos minerales. Más de la mitad de la producción de uranio mineral es lograda mediante el uso de los métodos de pozos abiertos convencionales o el método de minería subterránea. El resto es obtenido por Lixiviación in situ (ISL) un método donde una solución solvente es inyectada bajo tierra, disuelve el uranio dentro de la solución y es recuperado en pozos de extracción del uranio disuelto.

La purificación es el proceso a través del cual el uranio mineral minado es físicamente reducido a un tamaño conveniente, luego es químicamente tratado para extraer y purificar el uranio. También reduce el volumen del material para ser transportado a su siguiente etapa en el ciclo del combustible. Reflejando su coloración y consistencia, el producto sólido de la purificación (U_3O_8) es conocido como “yellowcake” o “pastel amarillo” aunque este también puede tener un color grisáceo.

A inicios del 2001, había 21 países productores de uranio diez de los cuales, Australia, Canadá, Kazajistán, Namibia, Níger, La Federación Rusa, Sudáfrica, Ucrania, los Estados Unidos y Uzbekistán, producían el 90% de la producción mundial. Los productores dominantes son Australia y Canadá, los cuales produjeron más del 50% de la producción mundial en el 2000.¹⁶²

La minería y la purificación del uranio mineral producen diferentes tipos de desperdicios, los cuales requieren un manejo apropiado. Los desperdicios de la minería de pozos abiertos y subterráneos son la tierra y/o rocas de desperdicio. La purificación produce el volumen más grande de desperdicios, que son una mezcla de rocas y líquido de proceso. Estos residuos plantean algunos problemas particulares debido a su gran volumen y a sus altos niveles de contaminantes radiológicos y químicos. La ISL no produce rocas de desperdicio o residuos de la purificación pero es apropiada solo para circunstancias geológicas específicas y debe ser manejada apropiadamente con el fin de proteger los mantos freáticos.

La cantidad de mineral necesario para producir una tonelada de producto, usando pozos abiertos o extracción del subsuelo depende primeramente del grado promedio del mineral que puede fluctuar de 10 a 1000 toneladas (con grados promedio de 10% a 0.1%). Por lo tanto el volumen de los residuos que resultan de purificar este mineral es grande. Por ejemplo, durante su vida, la mina Shirley Basin en los Estados Unidos produjo 9 460 toneladas de uranio mineral con un grado promedio de 0.145%. Esto resultó en 7.1 millones de toneladas de residuos.¹⁶³ La minería y la purificación son industrias maduras con mercados internacionales competitivos.

¹⁶² Uranium Information Centre. Cit. en. NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 24.

¹⁶³ Idem.

Conversión

La conversión es el proceso químico que transforma el “yellowcake” en hexafluoruro de uranio (UF_6). Este proceso se lleva a cabo solo en algunos lugares alrededor del mundo, en su mayoría países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (ver tabla 14). El Hexafluoruro de uranio es sólido a temperatura normal, pero se convierte rápidamente en gas cuando llega a una temperatura menor a la del punto de ebullición del agua, en esta forma es bastante adecuado para el proceso de enriquecimiento. Usualmente es almacenado y transportado en grandes cilindros. En este punto el uranio sigue reteniendo la misma composición de isótopos como los que se encuentran en el uranio natural.

Tabla 14. Principales Instalaciones de conversión de uranio en el mundo.

País	Sitio(s)
Canadá	Blind River y Port Hope, Ontario
Francia	Malvési; Pierrelatte
Federación Rusa	Angarsk; Ekaterinburg
Reino Unido	Springfields, Lancashire
Estados Unidos	Metropolis, Illinois

FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*, 2003.

Enriquecimiento

El enriquecimiento del uranio consiste en la separación parcial del uranio en sus dos principales isótopos (U^{235} y U^{238}), generando dos corrientes, la primera el enriquecimiento, para que contenga más U^{235} que en su concentración natural (0.711%), y la segunda correspondientemente, la reducción. La mayoría de los reactores comerciales requieren uranio enriquecido a menos de 5% de U^{235} . Algunos reactores de investigación requieren uranio altamente enriquecido como combustible, más del 20% de U^{235} , pero ya hay programas para que empiecen a utilizar uranio con menor grado de enriquecimiento.¹⁶⁴

Existen dos métodos de enriquecimiento comerciales en uso actualmente: difusión gaseosa y centrifugado, ambas basadas en el UF_6 . Las primeras plantas usaban tecnología de difusión gaseosa a pesar de su alto consumo de electricidad y el gran tamaño de la planta, factores que fueron clave para su menor proliferación alrededor del mundo. (ver tabla 15) Por ejemplo, la planta de difusión gaseosa en Tricastin, Francia se nutre de cuatro reactores nucleares. Más recientemente, los avances en las tecnologías de materiales y métodos de fabricación llevaron a un incremento en el uso del centrifugado, resultando en menores costos de enriquecimiento, debido principalmente a una reducción en el consumo de energía por un factor de 50.¹⁶⁵

¹⁶⁴ Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*, 2003. Francia, pág. 25.

¹⁶⁵ Idem.

Figura 32. Cascada de centrifugadoras en Rokkashomura, Japón.



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

Tabla 15. Principales Instalaciones de enriquecimiento de uranio en el mundo.

País	Sitio(s)	Tecnología
China	Lanzho0u	Centrífuga
	Shaanxi	Centrífuga
Francia	Tricastín	Difusión gaseosa
Alemania	Gronau	Centrífuga
Japón	Rocazo-mura	Centrífuga
Holanda	Almelo	Centrífuga
Rusia	Angarsk	Centrífuga
	Ekateringurg	Centrífuga
	Krasnoyarsk	Centrífuga
	Seversk	Centrífuga
Reino Unido	Capenhurst	Centrífuga
Estados Unidos	Paducah	Difusión gaseosa

FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

El proceso de enriquecimiento también produce uranio empobrecido, del cual existían, a finales de 1999, un estimado de más de 1.2 millones de toneladas principalmente producidas utilizando el proceso de la difusión gaseosa. El uranio empobrecido producido por el proceso de la difusión gaseosa contiene usualmente U^{235} recuperable, normalmente de alrededor de 0.3% de U^{235} (comparado con el 0.711% inicial).¹⁶⁶

Diferentes países han adoptado diferentes estrategias para el manejo de este material. Típicamente, el uranio empobrecido es almacenado en forma de UF_6 en grandes cilindros como en los Estados Unidos y Rusia. En esta forma puede representar un riesgo potencial químico si el cilindro se filtra. Otros países, como Francia, se encuentran transformando su material a un óxido estable para su almacenamiento a largo plazo y su posible reutilización eventual como combustible de reactores de cría rápida.

Dependiendo de su economía y de su capacidad de enriquecimiento por centrifugado, algunos países, Rusia por ejemplo, “re-enriquecen” para recuperar el U^{235} remanente utilizable.

El enriquecimiento es considerado una industria madura de servicios con mercados internacionales competitivos.

¹⁶⁶ NEA. *Nuclear Energy Today*. 2003. Francia. pág. 26.

Figura 33.
Ensamblaje típico
BWR.



Casi 4 m de altura y 15 cm de lado, puede llegar a pesar cerca de 300 kg.

FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

Fabricación del combustible

La mayoría de los reactores usan dióxido de uranio como combustible. La producción en forma de combustible involucra la transformación del UF_6 a polvo de dióxido de uranio (UO_2), el cual es comprimido y calentado a altas temperaturas (casi $1400\text{ }^\circ\text{C}$) para producir pequeñas piezas cilíndricas en forma de pastillas. Éstas son introducidas en tubos huecos de metal (barras de combustible) los cuales son ensamblados y montados. El metal utilizado es altamente resistente a la corrosión, el metal más comúnmente utilizado es el acero inoxidable o una aleación de zirconio. Más de 730 arreglos de barras de combustible, conteniendo cerca de 46000 barras de combustible servirán de combustible para un reactor típico BWR.¹⁶⁷

Una pequeña porción de los reactores alrededor del mundo han sido aprobados para usar el óxido-mixto (MOX) por sus siglas en inglés como combustible, es una mezcla de dióxido de uranio y dióxido de plutonio. El dióxido de plutonio se obtiene del reciclado comercial del combustible utilizado, aunque la Federación Rusa y los Estados Unidos están planeando usar plutonio de cabezas nucleares excedentes.

El proceso de producción del MOX es similar al del dióxido de uranio ya descrito, con precauciones adicionales para proteger a los trabajadores del incremento en la radiación de este material irradiado y de la inhalación de plutonio.

Aunque hay un gran número de fabricantes de combustible alrededor del mundo, la competitividad comercial se encuentra inhibida, debido principalmente a los requerimientos altamente específicos, a los sistemas reguladores nacionales y a la variedad de los tipos de reactores.

Figura 34. Pastilla de combustible típica.



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

167 NEA. *Nuclear Energy Today*. 2003. Francia. pág. 26.

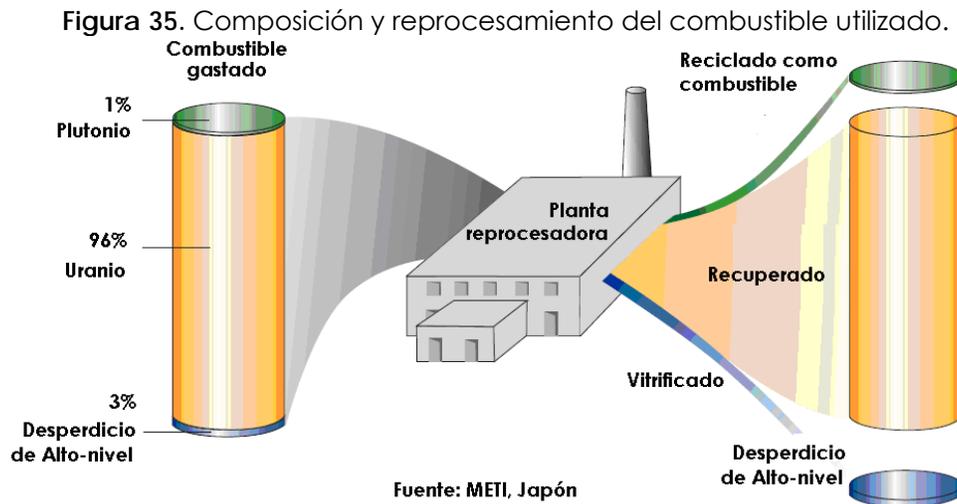
3.2.2 El final del ciclo.

El final del ciclo comienza cuando el combustible irradiado o “utilizado” es desmontado del reactor y almacenado en el sitio del reactor. Este proceso inicial implica el almacenamiento del combustible utilizado en grandes piscinas llenas de agua. El agua sirve como escudo para la alta radiación del material recientemente extraído del reactor y también ayuda a enfriarlo. Después de este primer periodo de enfriamiento, durante el cual ocurre la mayor disipación de calor, la temperatura del combustible es mucho más baja y está entonces listo para su almacenamiento a largo plazo o para su reprocesamiento si se persigue una estrategia de reciclaje.

El almacenamiento a largo plazo del combustible utilizado puede ser bajo condiciones húmedas o secas. Si se escogen condiciones húmedas el combustible utilizado es trasladado a otra piscina de agua similar a la del proceso de enfriamiento. Alternativamente, y recientemente, el combustible puede ser montado en grandes cascos blindados secos en los cuales la circulación natural del aire mantiene al combustible a la temperatura requerida, en lo que se conoce como almacenamiento en seco. El combustible utilizado puede mantenerse bajo condiciones secas o húmedas antes de que su empacamiento o re-empacamiento se vuelva necesario, o antes de su disposición.

Reprocesamiento

El reprocesamiento es la operación mediante la cual la energía no utilizada contenida en el combustible gastado es recuperada con la intención de utilizarla en el futuro o, en algunos casos, acondicionar al combustible para su desecho (ver figura 35). Este proceso también reduce el volumen y la radiotoxicidad a largo plazo del desperdicio que requiere desecharse. Este acercamiento al manejo del combustible gastado ha sido utilizado por algunos países Europeos (Bélgica, Francia, Alemania y Suiza), así como no europeos, como China, India, Japón y Rusia, aunque aún no es utilizado por la mayoría de los países que operan plantas nucleares.



FUENTE: METI, Japón. Nuclear Energy Today 2003.

El reprocesamiento puede reducir aproximadamente del 10 al 15% el requerimiento de uranio natural,¹⁶⁸ principalmente a través del uso del plutonio creado durante el proceso de fisión, el cual es extraído del combustible gastado y reciclado en combustible tipo MOX. La separación del uranio y del plutonio de otros isótopos se logra comercialmente usando un proceso químico llamado PUREX (*Plutonium Uranium Extraction*). Los remanentes de la fisión y los actínidos menores son desperdicios de alto-nivel. Otro remanente es la estructura metálica del arreglo del material llamada vaina y piezas de desecho. Las plantas reprocesadoras actuales son instalaciones grandes, caras y complejas que han sido, por estas razones, construidos sólo en algunos países (ver tabla 16)

Tabla 16. Plantas comerciales de reprocesamiento de combustible utilizado en el mundo.

Pais	Sitio/localización	Año de puesta en servicio	Tipo de combustible
China	Diwopu (Ganzu)	2002	LWR
Francia	La Hague	1976	LWR
India	Kalpakkam	1998	PHWR
	Tarapur	1974	PHWR
Japón	Rokkasho-mura	2005	LWR
	Takai-mura	1977	LWR, ATR
Federación Rusa	Tcheliabinsk-65 Mayak	1984	VVER
Reino Unido	B205/Sellafield	1964	Magnox GCR
	Thorp/Sellafield	1994	LWR, AGR

FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*. 2003.

El número posible de reciclajes de plutonio con las tecnologías de reprocesamiento y de reactor actuales es limitado debido al escalamiento de los isótopos del plutonio que no son fisionables por los neutrones térmicos que se encuentran en los reactores de agua ligera y por el escalamiento de elementos indeseables, especialmente el curio. Después de dos o tres ciclos el combustible debe ser manejado como un desperdicio similar al del ciclo abierto.

Esta limitación en el número de reciclajes, no se aplica si el material reciclado es usado en reactores rápidos. El uranio recuperado durante el reprocesamiento ha sido reciclado como combustible en el pasado pero actualmente no es así, en su lugar el uranio se almacena para su futura reutilización. Esto es porque el uranio recuperado es más radioactivo que el uranio natural debido a su exposición a los neutrones en el reactor y su reciclaje, es por esto que contaminaría las instalaciones de enriquecimiento y fabricación del combustible, complicando su operación. Para usarlo se requerirá de instalaciones dedicadas, algo que no es económicamente viable actualmente.

168 NEA. *Nuclear Energy Today*. 2003. Francia. Pág. 29.

3.2.3 Desmantelamiento.

Cuando cualquier instalación nuclear cierra permanentemente, ya sea un reactor, una mina de uranio o una instalación del ciclo del combustible, ésta necesita ser puesta en un estado en el que no pueda dañar al público, a los trabajadores o al medio ambiente. Este proceso, conocido como desmantelamiento, usualmente consiste en varias etapas.

Clausura

El combustible utilizado es recuperado del reactor y es almacenado de la manera usual, los sistemas líquidos son drenados, los sistemas operacionales son desconectados, y las aperturas exteriores en la planta son bloqueadas o selladas. La atmósfera en el edificio de resguardo es controlada y el acceso es limitado, con sistemas de vigilancia instalados. Usualmente, la clausura ocurre poco después del cierre de la planta.

Descontaminación y desmantelamiento

Todas las superficies son lavadas con agua o tratadas por medios mecánicos, químicos o electromecánicos para remover la radioactividad (descontaminación). Todo el equipo y edificios conectados con el proceso son removidos, monitoreados para detectar cualquier radioactividad remanente y son reciclados o puestos en almacenamiento intermedio, dejando sólo las partes del núcleo del reactor, particularmente la vasija del reactor y su ensamblaje protector. Las partes no-nucleares del establecimiento – oficinas, turbinas, calentadores, etc. Son desechados o utilizados en otras aplicaciones. Un grado apropiado de vigilancia de las partes remanentes y del ambiente en sus alrededores es aplicado. Todas estas actividades ocurren en un rango de tiempo de 10, 20 o más años, después del cierre de la planta.¹⁶⁹

Demolición y limpieza del sitio

Eventualmente, y solo si las partes remanentes de las instalaciones no son adecuadas para algún otro propósito, todos los materiales son removidos y el sitio es clausurado, se hace disponible para nuevos usos. La temporalidad de esta fase final es determinada en cada país por factores económicos, técnicos y de regulación, en algunos casos, no se llevará acabo por mucho tiempo, talvez 100 años después de su cierre. Aunque, con la introducción de la robótica y las técnicas de telemanipulación, esta fase es alcanzada de manera más rápida.

Los retrasos relativamente largos entre las fases del proceso son para permitir que la radioactividad decaiga con el fin de proteger a los trabajadores involucrados en el proceso de desmantelamiento, así como el de facilitar el almacenamiento y, finalmente, el desecho de los materiales radioactivos.

¹⁶⁹ NEA, The Decommissioning and Dismantling of Nuclear Facilities: Status, Approaches, Challenges. Paris: OECD, 2002.

Las plantas nucleoelectricas han alcanzado avanzados estados de desmantelamiento en los Estados Unidos y en varios países europeos (ver tabla 17). Las prácticas de desmantelamiento están madurando y se está ganando experiencia en este punto en el cual los procesos pueden ser considerados como predecibles y parte del ciclo de vida del reactor.

Desmantelamiento del desperdicio

El desmantelamiento de una planta nucleoelectrica o de alguna otra instalación nuclear genera una cantidad significativa de desperdicios radioactivos, la mayoría de ellos desperdicios de bajo-nivel. La comisión europea estima que el desmantelamiento de una planta nuclear “promedio” produce cerca de 10 000 m³ de desperdicios radioactivos,¹⁷⁰ en términos de volumen, son el concreto u otros materiales de construcción, que contienen las cantidades más pequeñas de radioactividad.

El combustible gastado en el reactor es la más grande fuente de radioactividad y con su extracción el inventario total de radioactividad en el sitio se reduce en cerca del 99%.¹⁷¹ Los grandes componentes del reactor como la vasija del reactor y los generadores de vapor son tratados como desperdicio radioactivo aunque su tamaño presenta grandes problemas. Estos pueden ser reducidos cortándolos en pedazos más manejables o pueden, como se hace regularmente, ser removidos y transportados a centros de depósito intactos.

Tabla 17. Reactores seleccionados que se encuentran en proceso de desmantelamiento o ya lo han completado.

Reactor	MW _e	País	Comentario
Niedera- ichbach	100	Alemania	Reactor enfriado por gas, cierre en 1974. La planta fue desmantelada y demolida con el sitio liberado para agricultura irrestricta en 1995.
Shipping- port	60	EUA	Reactor de cría de agua ligera cierre en 1982. En 1989 el sitio fue liberado para uso indistinto.
Trojan	1180	EUA	PWR cerrada en 1993. Los generadores de vapor fueron removidos y desechados en 1995, la vasija del reactor fue removida y desechada en 1999. El edificio está siendo descontaminado, pero su demolición no está planeada hasta el 2018.
Rancho Seco	913	EUA	PWR cerrada en 1989. La planta fue puesta en una condición de almacenamiento seguro y esta planeado que se mantenga de esta manera hasta el 2009 cuando habrá fondos para su desmantelamiento
Chinon	70 210 480	Francia	Tres plantas enfriadas por gas, de las cuales la última fue cerrada en 1990. Fueron parcialmente desmanteladas posponiendo su desmantelamiento final por 50 años.
Berkley	138 138	Reino Unido	Reactor enfriado por gas cerrado en 1989. La extracción del combustible fue finalizada en 1992. La planta está siendo preparada para un largo periodo de cuidado y mantenimiento.

FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*, 2003.

170 NEA, The Decommissioning and Dismantling of Nuclear Facilities: Status, Approaches, Challenges. Paris: OECD, 2002.

171 Ídem.

3.3 Aspectos económicos de la energía nuclear.

La energía nuclear se caracteriza por sus bajos costos de producción, altos costos de capital inicial, insensibilidad a la variación en los precios del combustible, larga vida operacional y gastos de regulación significativos.

Las plantas de energía nuclear existentes son competitivas generalmente aún en mercados sin regulación y particularmente cuando los costos de la inversión inicial han sido amortizados. Principalmente debido a sus altos costos de capital, la decisión para construir una nueva planta nuclear depende significativamente de factores y normas públicas.

Una diferencia entre la energía nuclear y otras formas de producción de electricidad es que algunos costos que son principalmente externos en otras fuentes de energía son internalizados en el caso de la energía nuclear.

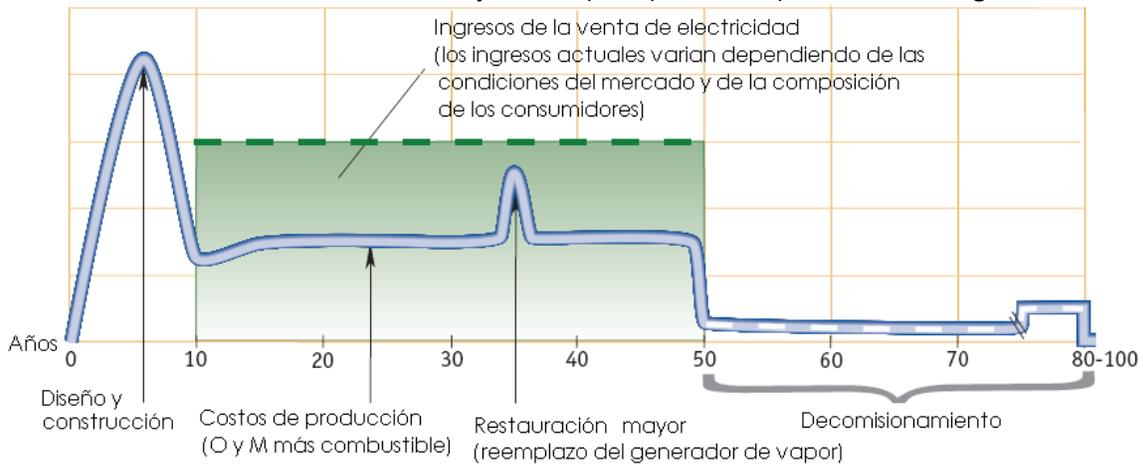
3.3.1 Costos, riesgos y desventajas.

Factores que influyen en la economía de la energía nuclear

La gráfica 13 muestra el ciclo de vida de los ingresos y los costos de una planta nuclear típica. Ésta demuestra los factores que caracterizan la economía de la energía nuclear, los cuales son:

- Altos costos de inversión de capital;
- Largos horizontes de planeación y vida operacional;
- Bajos costos en el combustible, operación y mantenimiento;
- Costos significativos que incurren después de que la planta nuclear cesa de producir energía (principalmente en el manejo y almacenamiento de los desechos radioactivos y su desmantelamiento).

Gráfica 13. Ciclo ilustrativo del flujo de capital para una planta de energía nuclear.



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*, 2003.

Elementos en los costos de generación de la energía nuclear

Los costos de generación de la electricidad son usualmente desglosados en tres categorías, los costos de inversión (capital), operación y mantenimiento, y combustible.

Los costos de inversión incluyen los costos de diseño y construcción, restauración mayor, y el desmantelamiento. Esta última incluye todos los costos incurridos desde el cierre de la planta hasta que el sitio es liberado, en concordancia con las políticas nacionales, e incluye los costos del manejo del material radioactivo y otros materiales de desecho generados durante el desmantelamiento, hasta que se dispone de ellos. A estos costos les son añadidos los asociados con el aseguramiento de la aprobación reguladora para proceder con la construcción y la operación.

Los costos de inversión deben ser financiados, y es por esto que en estos pueden incurrir cargos de interés. Estos son amortizados durante un periodo predeterminado, talvez en el orden de 20 a 25 años por lo que el servicio de deuda se vuelve parte de los costos de generación de electricidad.¹⁷² Se deben tomar medidas financieras para pagar el desmantelamiento y la disposición de los desperdicios asociados (procesos que pueden tomar varias décadas).

Los costos de operación y mantenimiento (O&M) incluyen todos los costos que no son considerados de inversión o costos del combustible, los mayores elementos serían los costos de operación y soporte técnico, entrenamiento, vigilancia, salud y seguridad, manejo y disposición del desperdicio operacional. Los costos del día a día y el mantenimiento periódico e inspección (durante el cual las plantas usualmente tienen que salir fuera de línea) también son incluidos. Debido a que los costos de inversión son esencialmente fijos después de la construcción, Los costos de O&M representan una gran oportunidad para la reducción de los costos existentes en una planta de energía.

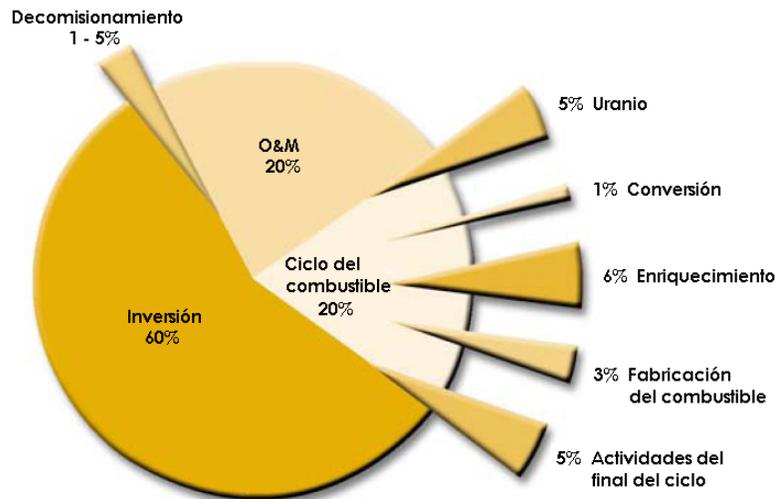
Los costos del combustible incluyen los costos relacionados con el ciclo del combustible, incluyendo los costos de compra, conversión y enriquecimiento del uranio, fabricación del combustible, acondicionamiento del combustible utilizado, reprocesamiento, disposición del combustible utilizado o del desperdicio de alto-nivel generado por el reprocesamiento y el transporte. Los costos del combustible solo forman parte del 20% de los costos de generación nuclear de electricidad,¹⁷³ por lo que es relativamente insensible a las fluctuaciones del precio del combustible, en contraste con la posición de los combustibles fósiles.

Aunque los costos de generación son bastante específicos, La gráfica 14 muestra la importancia relativa de los componentes en el costo de la generación nuclear de electricidad.

172 NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 60.

173 Idem.

Gráfica 14. Diagrama típico de los costos de generación nuclear de electricidad.



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*, 2003.

Riesgos financieros a largo plazo y obligaciones

La decisión de construir o de continuar con la operación de una planta de energía nuclear representa un mayor riesgo comercial que los que normalmente son asociados a fuentes de energía alternativas, por varias razones:

- El largo periodo de planeación y vida operacional conlleva a un mayor potencial para los cambios a largo plazo en el mercado que impactan en los ingresos negativamente o positivamente.
- El factor del alto costo fijo, debido principalmente a los altos costos de inversión, produce una gran vulnerabilidad a las fluctuaciones a corto plazo en las condiciones del mercado.
- El fuerte sistema regulador reduce la flexibilidad operacional e introduce la posibilidad de cambios en los requerimientos reguladores que pueden impactar adversamente en los costos (e históricamente ha sucedido de este modo).
- Incertidumbres asociadas con los costos del desmantelamiento y la disposición del desperdicio de larga vida, incluyendo los periodos de tiempo involucrados.

Mientras que las plantas no-nucleares pueden intercambiar o vender mucho de su costo base bajo condiciones económicas negativas, esta práctica está totalmente prohibida para las plantas nucleares (por ejemplo, una planta de energía de turbo gas puede vender su gas en el mercado abierto).

Aunque los costos del desmantelamiento y el manejo de los desperdicios asociados son altos, son relativamente un pequeño componente de los costos totales del ciclo del combustible, debido a que los largos periodos de tiempo involucrados producen un descuento considerable. La incertidumbre en la precisión de los costos esperados se da gracias a la larga vida en servicio de los reactores y al potencial cambio, así como al usual endurecimiento de las medidas reguladoras. Es por esto, que se toman medidas para que la incertidumbre forme parte de las provisiones para cubrir los costos del desmantelamiento.

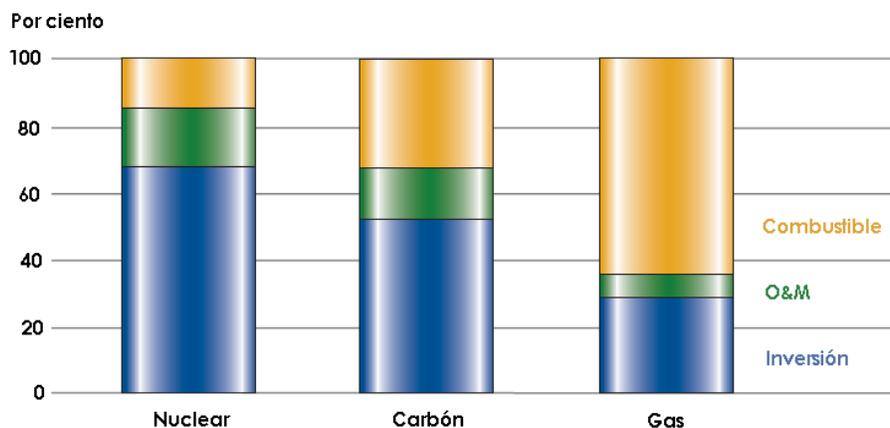
Si estos costos están basados en los ingresos proyectados sobre la expectativa de vida de una planta, existe un riesgo de déficit que podría forzar a la clausura temprana de la planta debido a estas condiciones económicas o podría producir ingresos por debajo de los niveles proyectados. En la práctica, no obstante, estos fondos se han reunido por encima de vidas proyectadas considerablemente más cortas que las actualmente alcanzadas. Existe también un potencial para avances en las tecnologías relevantes para reducir los costos por debajo de aquellos concebidos.¹⁷⁴

3.3.2 Aspectos competitivos.

Costos comparativos de la generación de electricidad

La gráfica 15 nos proporciona una comparación de los costos representativos de la generación de electricidad nuclear y de otras fuentes de combustible fósiles.

Gráfica 15. Diagrama de los costos representativos de generación.
(Tasa de descuento 10%)



FUENTE: NEA. *Projected Costs of Generating Electricity* (Paris: OECD, 1998). Valores promedio para Canadá, Francia, Japón, España y Estados Unidos.

174 NEA, *The Economics of the Nuclear Fuel Cycle*. Paris: OECD, 1994.

Comparada con la energía nuclear, las plantas de turbogas están caracterizadas por un bajo costo de inversión de capital y un significativo costo del combustible. Las plantas carboeléctricas se caracterizan por un rango medio de inversión y costo del combustible. En general, los costos del combustible representan relativamente una gran proporción de los costos de generación de las plantas basadas en combustibles fósiles que son, como resultado, sensibles a las variaciones del precio del combustible. Las fuentes de energía renovables, como las eólicas o las hidroeléctricas, son similares a las nucleoeeléctricas en tanto a su alta inversión y a su bajo costo de producción por unidad de potencia generada.

Plantas existentes

Debido al relativo bajo costo del combustible nuclear, los recientes avances en el mejoramiento de la eficiencia y el hecho de que en varios casos los costos de inversión iniciales ahora son amortizados, las plantas nucleares existentes han comprobado su competitividad a nivel mundial.

Información de la Comisión Europea en cuanto a los costos de producción de electricidad (incluyendo la inversión, la O&M y los costos del combustible) muestran que la energía nuclear es competitiva aún tomando en cuenta su alto costo de inversión (ver la tabla 18)

Tabla 18. Costos en la producción de electricidad por 7000 horas de producción.
(€ ¢/ kWh 1990)

	Carbón	Hidrocarburos	Gas	Nuclear	Biomasa	Fotovoltaicas	Viento
Mínimo	3.2	4.9	2.6	3.4	3.4	51.2	6.7
Máximo	5.0	5.2	3.5	5.9	34.5	85.3	7.2

FUENTE: Comisión europea, *Green Paper: Towards a European Strategy for Energy Supply*, European Commission. (Bruselas: EC, 2000), Anexo 2, Table 1 sin impuestos indirectos ni subsidios.

Datos de los Estados Unidos en costos de operación (solo O&M y costos del combustible) muestran un resultado similar. En 1999, los gastos de operación reportados fueron 1.92 US¢/kWh para la nuclear, 2.02 US¢/kWh para las fuentes de energía fósiles, 0.68 US¢/kWh para las hidro, y 3.87 US¢/kWh para las de turbogas, fotoeléctricas y eólicas.¹⁷⁵

Las posibilidades para las plantas ya existentes en campos económicos es por lo tanto el uso continuo de las instalaciones, debido a que los costos para una extensión en la vida útil de la planta o de una repotenciación son típicamente más bajos que la construcción de una nueva planta.

175 NEA, *Projected Costs of Generating Electricity: 1998 Actualización*. Paris: OECD, 1998.

La energía nuclear en mercados sin reglamentación

Un estudio de la OCDE/NEA (*Nuclear Energy Agency*) en Energía Nuclear en Mercados Eléctricos Competitivos, publicado en el 2000, encontró que plantas de energía nuclear ubicadas en Finlandia, Alemania, Holanda, España, Suecia, Estados Unidos y el Reino Unido han sido competitivas en sus respectivos mercados sin regulación.

Generalmente, la respuesta a la desregulación del mercado ha conestado de una mejora en la eficiencia de operación y en las utilidades. La presión de administrar la propiedad de una planta para encarar el endurecimiento de las regulaciones de seguridad parece proveer una base firme para el desempeño competitivo.

Nuevas Plantas

Los relativamente grandes costos de inversión para nuevas plantas nucleares son los principales factores. Para hacer que la construcción de nuevas plantas sea más atractivo comercialmente bajo condiciones competitivas, los costos de inversión deben ser reducidos. Nuevos diseños más efectivos y económicos, mejores métodos de construcción, estandarización y construcción en serie y construcción de múltiples unidades son todos medios para reducir los costos de inversión de las plantas nucleares. El mejoramiento es posible. Por ejemplo, En Japón durante los 90's, el uso de un diseño avanzado estandarizado de la mano con la construcción por duplicado en un solo sitio, permitió la construcción de nuevas plantas que serían terminadas en un término de 6 años comparado con el rango usual de 7 a 10 años. La construcción de dos avanzados reactores de agua hirviente (ABWR) en Kashiwazaki-Kariwa fue completada (de inicio a comercialización) en 62 y 65 meses.¹⁷⁶

Aunque, los altos niveles de compromiso financiero y riesgo en un mercado competitivo puede hacer que solamente el sector privado financie nuevas plantas nucleares, aún con el gran ahorro potencial en tiempo y costos. Históricamente, la explotación de la energía nuclear en bases altamente innovadoras ha sido impulsada por coaliciones privadas y públicas. La pregunta ahora es si esta relación puede o podría existir en un país como el nuestro.

Costos externos

Una diferencia entre la energía nuclear y otras formas de producción de electricidad es que la energía nuclear conlleva algunos costos que no están incluidos en (son externos a) los costos de otras fuentes de electricidad. Algunos de los costos asociados con la generación de electricidad nuclear incluidos en el precio al cual la electricidad resultante es vendida en el mercado abierto incluyen el manejo de los desperdicios radioactivos y su disposición. Las fuentes de energía fósil conllevan ciertos costos para la reducción de emisiones a la atmósfera y al agua, como con la nuclear, pero una parte considerable del desperdicio es desechado a la atmósfera, imponiendo costos en la comunidad que no son reflejados en el precio de su electricidad.

176 NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 62.

A menos que haya una excesiva reducción en los costos de capital de la energía nuclear, un aumento sostenido y significativo en los costos de los combustibles fósiles o decisiones políticas de internalizar algunos de los costos asociados con los combustibles fósiles, las inversiones del sector privado en nuevas plantas nucleares serán pocas. Hasta entonces, las decisiones de construir nuevas plantas nucleares estarán en su mayor medida influenciadas por políticas públicas, como la seguridad en el suministro.

3.4 La energía nuclear y el desarrollo sostenible.

Este rubro se considera el futuro de la energía nuclear en un amplio contexto del suministro y la demanda de energía en el mundo.

3.4.1 Demanda de energía.

La demanda mundial de energía continuará incrementándose como resultado del desarrollo económico y del crecimiento de la población. La parte abrumadora de este crecimiento es probable que tenga lugar dentro de los países en vías de desarrollo, dado que estos países tratan de luchar para elevar los estándares de vida de sus crecientes poblaciones. En 1998, El Instituto Internacional para el Análisis de los Sistemas Aplicados (IIASA) por sus siglas en inglés y el Consejo de Energía concluyeron que para el 2050, la demanda global de energía crecería probablemente a un factor de entre 1.5 y 3.0 con la demanda de electricidad al menos del doble.¹⁷⁷ La Real Sociedad Británica y la Real Academia de Ingeniería concluyeron en 1999 que el consumo de energía sería:

“...al menos el doble en los próximos 50 años y crecería a un factor de cinco en los próximos 100 años mientras que la población aumenta y trata de buscar la mejora de sus estándares de vida”.

El reto será el de responder a estas demandas en una manera en la cual se pueda sostener el crecimiento de la sociedad mientras que se encararan las necesidades actuales sin impactar indebidamente en las generaciones futuras.

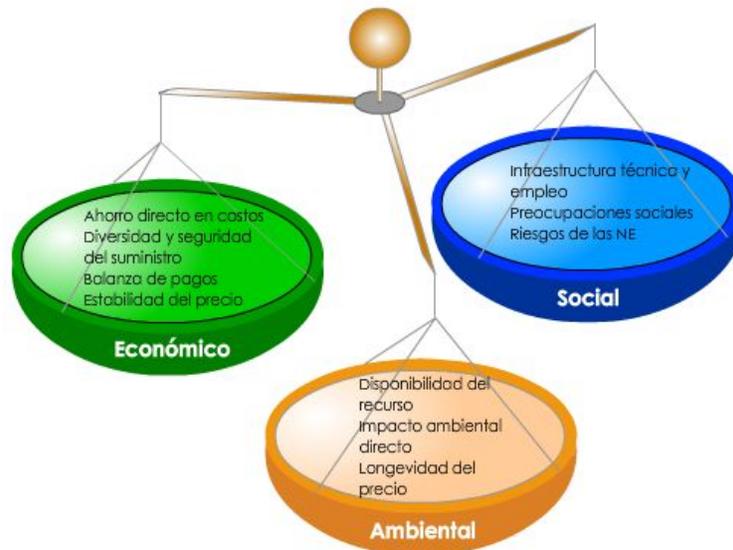
177 Royal Academy of Engineering, Nuclear Energy: The Future Climate. London: The Royal Society, 1999.

3.4.2 El desarrollo sostenible.

La energía es un componente importante de cualquier política para un desarrollo sostenible debido a que es de vital importancia para las actividades humanas y el crecimiento económico. El hecho de que las tecnologías actuales que proveen energía son ahora consideradas como insostenibles es proveedor de retos y oportunidades. Hasta que punto puede mostrarse la energía nuclear como una energía sostenible, será un factor determinante para colocarla en el espectro de fuentes de energía.

La sostenibilidad de cualquier desarrollo es discutida usualmente bajo tres dimensiones: *económico, ambiental y social* (ver figura 36)

Figura 36. Elementos de un desarrollo sostenible aplicable a la energía nuclear.



FUENTE: Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. *Nuclear Energy Today*, 2003.

Aspectos económicos

Los aspectos microeconómicos de la energía nuclear fueron discutidos anteriormente. Los siguientes párrafos se concentran en elementos macroeconómicos

Ahorro directo en costos

La habilidad de proveer electricidad a bajo costo y de manera confiable, es un aspecto importante del desarrollo sostenible. Como se mostró en el punto anterior, la energía nuclear puede ser competitiva en cuanto a costos se refiere con la adecuada acción política de internalizar los costos ambientales, engendrando la aceptación social e incrementando la seguridad en el suministro de los combustibles. A corto plazo, su competitividad es diferente en cada país, dependiendo principalmente del precio de los combustibles fósiles, que tienden a fluctuar.

Diversidad y seguridad del suministro de energía

El petróleo y el gas tienen una disponibilidad geográficamente limitada, con países del medio oriente y la Federación Rusa que controlan más del 70% de las reservas mundiales de crudo y cerca de dos terceras partes de las reservas de gas natural.¹⁷⁸ Dejando a un lado las inestabilidades políticas que han caracterizado a las regiones proveedoras, las largas rutas proveedoras a mercados importantes son también vulnerables a la disrupción por las acciones políticas.

Los países de la OCDE producen casi el 55% del uranio mundial, y tienen el 40% de las reservas conocidas, comparado con el 7% del petróleo, 12% del gas y 40% de las reservas de carbón.¹⁷⁹ Los países de la OCDE son en su mayoría autosuficientes en los servicios esenciales que convierten al uranio natural en combustibles nucleares terminados.

A diferencia de los combustibles fósiles, el combustible nuclear es fácil de almacenar; grandes inventarios pueden ser resguardados a precios comparativamente más bajos. Cerca de 25 toneladas de ensamblajes de combustible proveerán el combustible de un año para un reactor de agua presurizada que genera 1 GW_e. Una planta carboeléctrica de capacidad similar requeriría de 3 millones de toneladas de combustible, más de 100,000 veces más combustible.¹⁸⁰

Mientras que la dependencia de un país a fuentes extranjeras de energía aumenta, también aumentan los costos y las consecuencias económicas de cualquier disrupción. Cualquier fuente de energía que reduzca la dependencia a fuentes de combustibles extranjeros puede decirse que incrementa la seguridad del suministro de energía y principalmente la seguridad nacional.

Balanza de pagos

Puede observarse que la energía nuclear tiene dos potentes influencias en la balanza de intercambio, asumiendo que sus costos son competitivos. Primera, la importación de cantidades relativamente pequeñas de uranio a bajo costo será más atractiva que la importación o utilización local de grandes cantidades de carbón, petróleo o gas a altos precios. Segunda, La creación o la extensión de la infraestructura tecnológica necesaria para mantener a la energía nuclear puede ayudar a la exportación de tecnología.

Estabilidad en los precios

El costo del combustible es un gran componente del precio de la electricidad de combustibles fósiles. Por lo tanto la tendencia hacia la fluctuación de los precios de los combustibles fósiles se traduce en variaciones en el precio de la electricidad, especialmente en un mercado competitivo.

178 NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. pág. 74.

179 Ídem.

180 Ídem.

La baja acumulación de costos del combustible y la alta acumulación de costos fijos en el caso de la generación de electricidad nuclear tienen, en contraste, un efecto potencialmente estabilizador en los precios y los costos de la electricidad.

Generalmente, la disponibilidad y el uso de fuentes alternativas de energía, tantas como sea posible, tiende a reducir las presiones en la demanda de cualquier fuente de combustible contribuyendo así potencialmente a la estabilidad macroeconómica de todas.

Aspectos ambientales

La sostenibilidad ambiental de un material particular es usualmente discutida en términos de su disposición, la adecuación de sus reservas, y su impacto directo en el medio ambiente.

Disponibilidad del recurso

El uranio está ampliamente disperso en la corteza terrestre y en los océanos, es aún más abundante que la plata. A inicios del 2001, los yacimientos estimados de uranio convencional, sumaron cerca de 16 millones de toneladas o casi 250 años de suministro al ritmo actual de uso. También hay, en adición, yacimientos no convencionales en los cuales el uranio existe en grados muy bajos, o es recuperado como un producto resultante. Existe un monto de cerca de 22 millones de toneladas en depósitos de fosfato y 4 000 millones de toneladas de uranio contenidos en el agua salada del mar.¹⁸¹ Aunque, hoy en día, solo se pueden obtener a nivel laboratorio.

En el largo plazo de cualquier manera, la adecuación de los yacimientos de uranio natural depende de las tecnologías de reactor y de las estrategias adoptadas en el ciclo del combustible. El reprocesamiento del combustible utilizado usando la tecnología del reactor de agua ligera podría, en principio, reducir la demanda de uranio de un 10 a un 15%.¹⁸² La introducción de reactores rápidos incrementarán la eficiencia del combustible, el reemplazo de todos los reactores térmicos con reactores rápidos y el reprocesamiento en el ciclo del combustible incrementarán las fuentes de uranio por un factor de 50.¹⁸³ Otras técnicas avanzadas actualmente concebidas es el empleo de Torio como combustible en lugar del uranio, expandiendo así las fuentes de combustible nuclear. La India, en particular, cuenta con grandes reservas de Torio, y se encuentra trabajando en la implementación de un ciclo del combustible para el Torio. En esencia, la energía nuclear no puede ser considerada limitada de recursos.

181 NEA, Uranium 2001: Resources, Production and Demand. Paris: OECD, 2002.

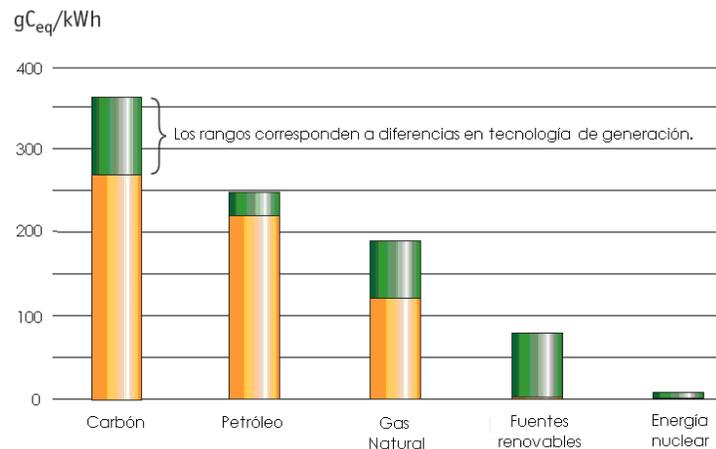
182 NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. pág. 76.

183 Ídem.

Impacto ambiental directo

La energía nuclear es una de las pocas fuentes de energía que virtualmente no emiten gases contaminantes ni gases de efecto invernadero. Todo el ciclo del combustible incluyendo la extracción del mineral y la construcción de las plantas de energía se ha estimado una emisión de entre 2.5 y 6 gramos de carbono equivalente por kWh de energía producida. Esto es aproximadamente igual a las emisiones estimadas del uso de fuentes renovables (viento, hídrica, solar) y cerca de 20 a 75 veces menos que las emisiones de fuentes como el gas natural, el más limpio de los combustibles fósiles disponibles (ver gráfica 16).¹⁸⁴

Gráfica 16. Emisiones de gas de efecto invernadero por generación de electricidad de diferentes fuentes.



FUENTE: IAEA, 2003.

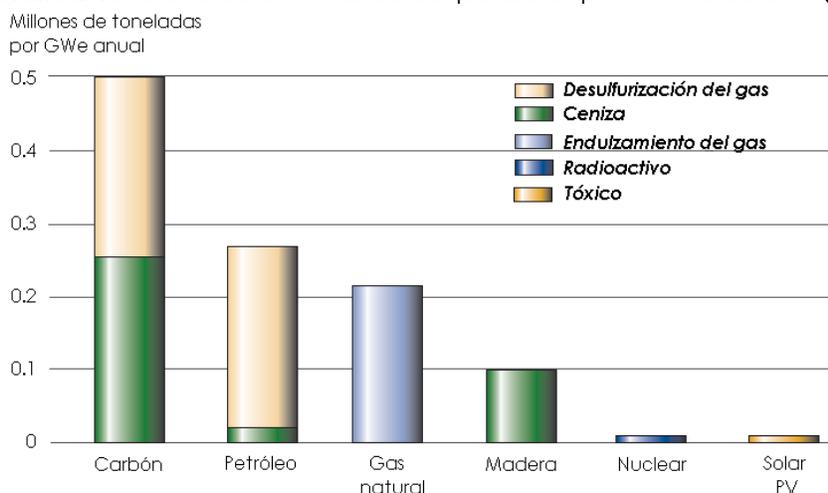
La energía nuclear es por lo tanto uno de los medios principales disponibles para limitar la emisión de carbono al medio ambiente. En países de la OCDE únicamente las plantas de energía nuclear evitan que 1 200 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) sean emitidas anualmente. Asumiendo que todas las plantas nucleares en el mundo fueran reemplazadas por plantas de energía alimentadas por combustibles fósiles, las emisiones de CO₂ del sector energético mundial aumentarían en un 8%.¹⁸⁵

La energía nuclear evita la emisión local de gases contaminantes y partículas como el sulfuro, y los óxidos del nitrógeno que han sido vinculados con la lluvia ácida y enfermedades respiratorias. La cantidad de desperdicios sólidos generados por unidad de electricidad es mucho más bajo para la nuclear que para cualquier combustible fósil. Esta es esencialmente equivalente a los de las fuentes de energía renovables como la energía solar. (ver gráfica 17)

184 NEA, Nuclear Power and Climate Change. Paris: OECD, 1998.

185 Idem.

Gráfica 17. Generación total de desperdicios por fuente de energía.



FUENTE: IAEA, 2003.

De cualquier modo, para que la energía nuclear haga una mayor contribución para evitar el calentamiento global, la capacidad de generación nuclear debe tener una gran expansión que debiera incrementarse en un factor de 10 para 2100, la proporción del uso de su energía primaria se incrementaría de un 7% a no más del 25%, evitando así casi el 15% de las emisiones de carbono acumuladas durante el periodo.¹⁸⁶ Aunque, si esta expansión en capacidad nuclear se lleva a cabo sobre las bases de la tecnología actual, habrá una considerable adición al volumen acumulado (y también de actividad) del desecho radioactivo.

La energía nuclear es una de las opciones que pueden contribuir al enfrentamiento del incremento en la demanda de energía mundial, esencialmente sin adicionar emisiones de carbono. Pero para ser efectivos y aceptables a este nivel, deberán ser requeridas tecnologías avanzadas de reactores y estrategias de reciclaje del combustible. En esencia, a medida que el siglo avanza, la flota actual de reactores de agua ligera y térmicos, deberán ser reemplazados por tecnologías más avanzadas, como las reactores de cría rápida con reciclado del combustible. Un cambio como este requerirá inversiones considerables, sin exceder la demanda de inversión de otras estrategias para encarar la demanda creciente de energía mientras se limita el calentamiento global.

Longevidad del desperdicio

El desperdicio de alto nivel, aunque pequeño en volumen, permanece radioactivo por muchos años. Han sido investigados depósitos bastante profundos por varias décadas y el juicio experto es el de que no existen barreras técnicas para su construcción con estándares bastante altos de integridad. Aunque ha habido progresos recientes en Finlandia y Estados Unidos, ningún depósito se encuentra en operación actualmente.

¹⁸⁶ NEA, Nuclear Power and Climate Change. Paris: OECD, 1998.

Es por esto que la disposición de los desperdicios de alto nivel permanece, hasta ahora, como un reto para el desarrollo sustentable de la energía nuclear.

La investigación y el desarrollo de avanzados ciclos de combustible y del tratamiento del desperdicio prometen reducir el volumen de desperdicio que requiere de aislamiento y del tiempo que este debe permanecer aislado. Aunque, el resultado de estas investigaciones no estará disponible probablemente por varias décadas.

Aspectos sociales

Infraestructura técnica y empleo

La gente es la que crea y mantiene cualquier tecnología. A este respecto la energía nuclear tiene ciertas características especiales, basadas en grandes desarrollos científicos y tecnológicos del siglo XX. La mayoría de los altos costos de las instalaciones nucleares están personificados en la ciencia y la tecnología, las cuales son esenciales para la continuidad de su seguridad y su futuro desarrollo. La industria nuclear también emplea a una alta proporción del personal graduado y capacitado que está familiarizado con algunas otras industrias de energía y manufactura. El capital social así como una base para el desarrollo continuo son importantes dentro de la industria, aunque vulnerables.

La sustentabilidad de la energía nuclear depende de la compleja y cara infraestructura que yace en este capital social, el cual, si se perdiese, sería difícil de reemplazar ya sea barata o rápidamente.

Derivaciones

El mejoramiento y el mantenimiento de la infraestructura técnica e intelectual para el apoyo de la energía nuclear proveen de numerosos beneficios derivados a la sociedad. Así como con otras tecnologías altamente avanzadas, hay materiales, técnicas y aptitudes, que han sido aprovechadas en otros sectores, por ejemplo, en la medicina, manufactura, salud pública y en la agricultura, con los beneficios económicos consecuentes.

Preocupaciones sociales

Todas las tecnologías para generar energía tienen una tendencia a crear preocupaciones sociales, hasta conflictos. En el caso de la energía nuclear, las preocupaciones se han centrado en las cuestiones de seguridad, proliferación y disposición de los desperdicios. El carbón tiene su propia profunda historia de conflicto y división social, como a un nivel internacional lo ha sido el petróleo. Hasta la explotación de las energías renovables ha sido sujeta a escrutinio y oposición originada en su intromisión visual en el paisaje y por la gran área que cubren. Los grandes proyectos hidroeléctricos han levantado oposición a escala global debido a los impactos sociales y ambientales que involucra una inundación masiva.

El riesgo de las plantas nucleoelectricas

Así como con cualquier otra instalación industrial importante, y a pesar de todas las precauciones, las plantas de energía nuclear presentan riesgos para los trabajadores, para las personas que viven en los alrededores de la planta, y, en el caso de un accidente verdaderamente severo como el de Chernobyl, para las personas que viven a una distancia relativamente lejana de la planta. Usualmente estos riesgos son analizados en términos de consecuencias radiológicas por lo que resultan (1) operación normal y (2) de accidentes. La energía nuclear desde el punto de vista de seguridad industrial, es relativamente segura. Por ejemplo, datos de los Estados Unidos del 2000 revelaban un porcentaje de accidentes a una planta nuclear de 0.26 accidentes por 200 000 horas de trabajo comparado con el promedio de 3.0 de una planta de refinación de gasolinas.¹⁸⁷

Riesgos en la operación normal

Los riesgos radiológicos de la operación normal se derivan de las descargas diarias de material radioactivo ya sea en el aire o en el agua. Todas estas descargas están estrictamente controladas en todos los países por la autorización de las autoridades reguladoras más importantes. Éstas están también sujetas a tratados internacionales. En principio, las descargas de este tipo pueden afectar la cadena alimenticia humana (vía mariscos por ejemplo) y así representa un peligro para el público.

Riesgos en los accidentes

Los riesgos en los accidentes son mucho más difíciles de estimar, en parte porque los accidentes nucleares de toda clase han sido muy raros, y en parte también porque las consecuencias pueden variar en un rango muy amplio. Hay estudios que estiman la probabilidad de que las barreras protectoras construidas dentro de las plantas modernas fallen en el momento de un accidente, causando la liberación de vapores radioactivos de varios tamaños hipotéticos. Los cálculos muestran generalmente que las probabilidades de que cualquier accidente en un reactor moderno, uno que ha sido mejorado teniendo en cuenta la lecciones de Chernobyl y La isla de Tres Millas, es de 1 en 100 000.¹⁸⁸

Los diseños para futuros reactores poseen consideraciones en su diseño más explícitas para accidentes severos y los cálculos indican que la probabilidad de un accidente severo es aún menor, del orden de 1 en 1 000 000.¹⁸⁹

Tomando en cuenta estas cifras, debe de tenerse en mente que los efectos de un accidente nuclear pueden tener considerables impactos, incluyendo la muerte de individuos (que puede ocurrir décadas después del accidente), la pérdida del uso de algún terreno para vivienda o agricultura y de la pérdida de grandes cantidades de capacidad de generación de electricidad, los cuales tendrán serias consecuencias para la sociedad.

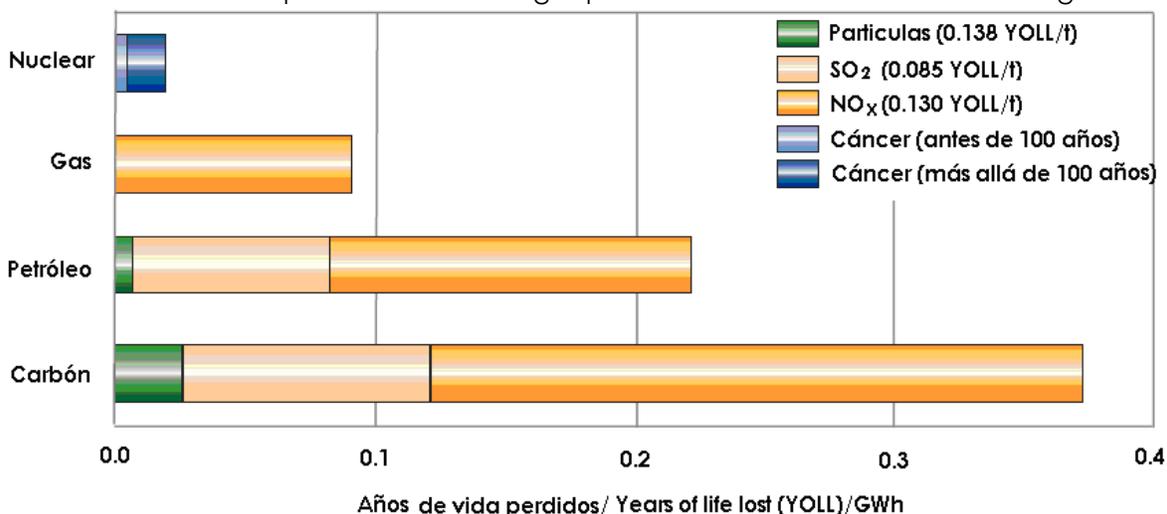
¹⁸⁷ NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. pág. 78.

¹⁸⁸ Ídem.

¹⁸⁹ Ídem.

En la consideración de riesgos potenciales de la energía nuclear es necesario referirlo en el contexto del enfrentamiento del incremento de las demandas de energía de la sociedad. Observando a los riesgos potenciales de las diferentes fuentes de energía muestra que las cargas potenciales al medio ambiente y a la salud pública de la energía nuclear son menores que aquellas asociadas con los combustibles fósiles. (ver la gráfica 18).

Gráfica 18. Comparación de los riesgos para la salud en los sistemas de energía.



FUENTE: "Comparative Assessment of Emissions from Energy Systems", Boletín IAEA, 1999.

Tomando una vista más amplia, se debería considerar también los riesgos más intangibles como colocar nuestra confianza en los combustibles fósiles locales e importados de otros países que pueden causar interrupciones económicas considerables si estas provisiones fueran interrumpidas. Adicionalmente, las fuentes de energía fósil, las cuales contribuyen enormemente al calentamiento global, podrían, en varios países, tener serias consecuencias como la inhabilitación de partes de ciudades costeras debido a los derrames de crudo.

Las instalaciones nucleares de todo tipo están dentro de los numerosos blancos potenciales de la actividad terrorista. Aunque, a diferencia de alguna otra actividad industrial, las plantas nucleares toman las medidas necesarias en respuesta a este peligro potencial, pero no se puede garantizar la absoluta seguridad. Es muy difícil de cuantificar o hasta describir los riesgos de esta clase, pero las centrales nucleares debido a su robustez inherente, a la protección de su construcción, fuerzas de seguridad y generalmente su localización tan remota, son blancos inactivos y sin recompensas para los ataques terroristas.

Por ultimo, solo los individuos pueden juzgar la extensión de los riesgos particulares que les conciernen. Las cifras comparativas de riesgo tienen entonces solo un significado limitado, pero es sin lugar a dudas la manera de colocar los temas en proporción, y de recordarnos que el mundo es un lugar riesgoso, y que todos los medios disponibles para la producción de electricidad conllevan riesgos. El elemento social en el desarrollo sustentable puede ser afrontado sólo con la atención de las preocupaciones públicas y la obtención de la confianza pública. Será importante permitirle al público colocar las cuestiones sociales, éticas y políticas emanadas de la energía nuclear en una perspectiva con los diferentes, pero no disimilares, problemas emanados de las fuentes alternativas de generación de electricidad.

3.5 Perfil Nuclear de México.

A continuación se analizará someramente el perfil que posee México en lo que respecta a los aspectos más importantes que conciernen al desarrollo de la energía nuclear, desde la disponibilidad del combustible hasta los compromisos adquiridos internacionalmente para su desarrollo.

3.5.1 Reservas de uranio en México.

El desarrollo de los combustibles nucleares en México constituye un caso singular, desde que las primeras fases de exploración y explotación están bajo control del estado, de esta forma, las fluctuaciones que sufre el precio del uranio en el mercado internacional afectarán la economía nacional en la medida del volumen de reservas probadas, o en la carencia tecnológica para producir combustibles que conduzcan al establecimiento de los programas nucleares. Es de enfatizar, que para el desarrollo de la industria Nuclear en México, por fortuna se cuenta con reservas potenciales de uranio susceptibles de ser explotadas, descubiertas y desarrolladas parcialmente hasta la clausura de la empresa paraestatal Uranio Mexicano (URAMEX) en el año de 1984. En sus respectivas modalidades de potenciales, probables, posibles y probadas. Existen condiciones favorables para incrementar estos rubros a muy corto plazo; pero la escasez de capital y la carencia de tecnología doméstica ocasionó que estas perspectivas quedaran truncadas y olvidadas ante el “boom petrolero” que se desató durante la década de los ochenta.

En efecto, hacia finales de la administración del Presidente Luis Echeverría Álvarez (1970-1976) la solución programada por el gobierno del país, hacia el 2000, radicaba en emplear principalmente la energía nuclear y sólo un mínimo a los hidrocarburos para la generación de electricidad, no obstante que ya se habían descubierto los campos de Cactus y Cantarell.

Lo anterior se fundamentó en un estudio a largo plazo elaborado por la Comisión de Energéticos, al determinar que entre el 2003 y el 2005 se alcanzaría la máxima producción de hidrocarburos y el inicio de su descenso.¹⁹⁰

Desde 1957, se ha venido promoviendo la búsqueda de yacimientos de uranio en el territorio nacional por medio de exploraciones terrestres y reconocimientos aeroradiométricos, lográndose definir más de 200 anomalías radiométricas, entre prospectos y depósitos uraníferos de menor o mayor importancia. Desde entonces, varios distritos regionales investigados como Peña Blanca, Chihuahua, Coneto-El Rodeo, Durango; La Coma-Buena Vista, Tamaulipas y Los Amores, Sonora, formalizaron concentraciones económicas explotables de reservas minerales. Posteriormente hacia el cierre de URAMEX se descubrían los gigantescos yacimientos mesozoicos de la Cuenca de Tlaxiaco, Oaxaca. Los que básicamente vendrían a resolver la problemática de abastecimiento de combustible nuclear para el programa de instalación de plantas nucleoelectricas.¹⁹¹

Hacia los años 1978 y 1980, de acuerdo con estudios científicos desarrollados por Sergio Bazán Barrón de URAMEX, en un proyecto de tesis doctoral se programó explorar áreas favorables de Jurásico y Cretácico similares a las estudiadas en otros países, desarrollando la infraestructura geológica básica en regiones donde de hecho no existía referencia de manifestaciones uraníferas, pero condiciones favorables que a muy corto plazo resultarían positivas, localizándose las extensas concentraciones diseminadas en terrenos mesozoicos en la región de Tlaxiaco, evidenciando y acreditando así la teoría científica. Fue así como se promovió la exploración de la cuenca mesozoica de Tlaxiaco por medio de brigadas terrestres.

Los yacimientos de uranio sedimentario de la Cuenca de Tlaxiaco se encuentran diseminados hacia la base y la cima de secuencias litoestratigráficas del Jurásico y Cretácico continental y litoral, en una faja potencial de 15-20 km. Las que comprenden secciones geológicas de 350-550m de espesor que afloran esporádicamente, cubriendo el frente continental mesozoico del cartón Precámbrico-Paleozoico denominado Complejo Basal Cristalino de Oaxaca y Guerrero. Estos depósitos se encuentran en condiciones semejantes a los extensos yacimientos sedimentarios del Colorado Plateau de EUA, una de las provincias con mayor riqueza y producción uranífera.¹⁹²

También como reservas no convencionales, es decir, económicamente no aprovechables pero de gran magnitud como subproducto, serían los depósitos de fosforita en sedimentos de ambientes marinos de la región de San Juan de la Costa y Santo Domingo, Baja California.¹⁹³

190 CE, 1976. Cit. En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 13.

191 Bazán, 1981. Cit. En Ídem.

192 Ídem.

193 Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 13.

Con respecto al potencial y situación económica de las reservas probadas de uranio en México, su valoración es incierta hasta el año 1981, cuando se contaba con 14,522 t de U_3O_8 "in situ" como reservas probables y 35,000 t de posibles, lo que en la práctica se trata de verdaderas estimaciones de U_2O_8 difíciles de recuperar comercialmente por su escaso volumen y con gran parte de refractarios para su recuperación metalúrgica, lo que en conjunto elevaban su costo de concentración entre 4 a 8 veces, según el yacimiento; más de lo que se podría adquirir en el mercado internacional.¹⁹⁴

En resumen son pocas las reservas probadas de uranio en México, en 1999 las reportadas en la estadística mundial, fueron de 1,700 t.¹⁹⁵ Sin embargo, se cuenta con un gran potencial de reservas que en poco tiempo podrían ser cubiertas en detalle y convertirse en reservas probadas de grandes dimensiones, teniendo como principal región a las de la Cuenca Mesozoica de Tlaxiaco (Oaxaca-Guerrero). Su desarrollo puede colocar a México entre los países con mayores reservas probadas y un mayor interés económico para el desarrollo tecnológico, así como el mejor aprovechamiento energético con participación internacional.

Por lo expuesto, las regiones más favorables de México por sus condiciones potenciales son en primer término, la Cuenca de Tlaxiaco, estado de Oaxaca y Guerrero (Mesozoico); Cuenca de Burgos, Tamaulipas (Terciario); Secuencia Formación Trancas, Querétaro (Mesozoico); las tres en ambientes sedimentarios continentales de litoral. En segundo término, los yacimientos de uranio asociado a rocas volcánicas e hidrotermales como los de el Distrito Uranífero de Villa Aldama, Chihuahua, En tercer término, los no convencionales de San Juan de la Costa y Santo Domingo, Baja California, al obtenerse como subproducto de la roca fosfórica.

3.5.2 Ciclo del combustible.

Desde la desaparición de URAMEX, la Secretaría de Energía (SENER) ha tenido la responsabilidad de la prospección del uranio, la cual delega al Panel de Recursos Minerales. México ha identificado reservas de cerca de 2,000 t de uranio en el 2003 pero este no ha sido explotado a la fecha.¹⁹⁶

Una planta minera de uranio operó de forma experimental en Villa Aldama, en la región de Chihuahua a finales de 1960 pero fue desmantelada. Los restos fueron dispuestos en la región de Peña Blanca.

194 Ídem.

195 Uranium, 2000. Cit. En Ídem.

196 Country Nuclear Power Profiles, IAEA 2003.

Bajo la legislación mexicana, el combustible nuclear es propiedad del estado y se encuentra bajo el control de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS). El combustible nuclear utilizado por los reactores de la planta de Laguna Verde es almacenado en el sitio en albercas de almacenamiento.

3.5.3 Manejo del desperdicio nuclear.

El gobierno de México, a través de la SENER es responsable por la disposición y el almacenamiento de los combustibles nucleares y los desperdicios radioactivos sin importar su origen.

La SENER está comenzando a tomar medidas administrativas y presupuestales para crear una compañía nacional que se encargue del manejo de los desperdicios nucleares. Y también se encuentra a punto de firmar el tratado de la Convención para la Seguridad en el Manejo del Combustible Gastado y el de la Seguridad en el Manejo de Material Radioactivo.

Un sitio de depósito cerca de la superficie para desperdicios de bajo nivel (LLW) operó en Piedrera entre 1985 y 1987. En ese entonces, 20,858 m³ de desperdicio fueron almacenados. También, un centro de tratamiento y almacenamiento para desperdicios de bajo nivel ha operado en Maquixco desde 1972.¹⁹⁷

3.5.4 Regulación y Seguridad.

El acta de 1984 de Actividades Nucleares declara que el gobierno, a través de la SENER, es responsable por el establecimiento de la infraestructura para el uso y desarrollo de la energía nuclear y la tecnología nuclear.

La CNSNS es un organismo regulatorio nuclear que se encuentra bajo la autoridad de la Secretaría de Energía que toma el rol de regulador. La CNSNS es responsable por asegurar la aplicación apropiada de regulaciones y salvaguardas para la seguridad nuclear y radioactiva y por la protección física de instalaciones nucleares y radiológicas para asegurar así la seguridad pública.

La CNSNS es también responsable por la revisión, evaluación y aprobación del criterio para diseñar, construir, operar y dismantelar instalaciones nucleares, proporcionando las regulaciones relevantes. Tiene el poder de conceder o suspender licencias para instalaciones nucleares, las cuales son avaladas por la CNSNS a través de la SENER.

¹⁹⁷ Ídem.

3.5.5 Investigación y Desarrollo.

La principal organización de investigación en México es el Instituto Nacional de Investigación Nuclear (ININ). El ININ ha operado un reactor de investigación Triga Mk III de 1000 kW desde Noviembre de 1968.¹⁹⁸

La Universidad Nacional Autónoma de Zacatecas tiene un Modelo subcrítico Chicago 900 usado para entrenamiento, comisionado en 1969.¹⁹⁹

La Universidad Nacional Autónoma de México posee un programa de Maestría y Doctorado en Sistemas Energéticos con modulo en Sistemas Núcleo Eléctricos, así como de instalaciones para simulación de procesos y tecnologías nucleares.

Un Acuerdo Nuclear de Cooperación entre México y Canadá fue firmado en 1995 por el intercambio de información en investigación y desarrollo, salud, seguridad, planeación de emergencia y protección ambiental. Este también provee para la transferencia de material nuclear, equipo y tecnología y asistencia técnica.

3.5.6 No-Proliferación.

La Constitución mexicana proclama que la energía nuclear solo será utilizada con fines pacíficos y esto es reiterado en el Acta de Actividades Nucleares de 1984.

México ratificó el tratado de No-Proliferación Nuclear en 1969 y el Protocolo Adicional en 2004. También es parte de la Convención para la Protección Física del Material Nuclear, ratificado en 1988. México es depositario del Tratado para la Prohibición de Armas Nucleares en América Latina (El Tratado de Tlatelolco) y ha sido parte del Tratado desde 1967.²⁰⁰

198 IAEA 2003, Country Nuclear Power Profiles

199 Idem.

200 NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia. Pág. 69.

3.6 Otras aplicaciones de la energía nuclear.

La ciencia y la ingeniería nuclear han contribuido al desarrollo de tecnologías, métodos y equipos que han tenido repercusiones muy importantes en otros campos proporcionando soluciones técnicas capaces de resolver necesidades concretas. Nuevos materiales, desarrollo de instrumentación, sistemas de detección, capacidades y conocimientos han podido ser utilizados por la industria y los laboratorios en numerosas aplicaciones. La física nuclear es hoy un campo de investigación básica y aplicada que ha permitido desarrollar técnicas para la utilización de los radisótopos en industria y medicina, el desarrollo de aceleradores para aplicaciones terapéuticas e industriales, la propulsión naval o de naves espaciales y podrá jugar un papel importante en el desarrollo de tecnologías energéticas emergentes como el desarrollo del vector hidrógeno.

El más atractivo a corto plazo esta relacionado con el desarrollo de aceleradores para la producción de radioisótopos con aplicaciones de interés industrial o médico. Un tema pendiente, en un horizonte más lejano aborda el papel que puede jugar la energía nuclear para la producción de hidrógeno en grandes cantidades a precios competitivos, contribuyendo al desarrollo de una nueva economía energética. Así como la desalinización de agua de mar ante la inminente problemática del agua potable.

4. Prospectiva: un enfoque estratégico.

A partir de la explosión tecnológica producto de la segunda guerra mundial, los científicos e ingenieros con sus innovaciones y desarrollos tecnológicos y los emprendedores que llevaron estas innovaciones al mercado han embelesado a la sociedad con productos que ofrecen la oportunidad de satisfacer las necesidades de todos aquellos que pueden adquirirlos; incluso, si la necesidad no existe, ésta se crea.

La sociedad fue testigo por ejemplo de cómo el transistor sustituyó a la válvula al vacío y después confinado en el circuito integrado, y de cómo el circuito integrado ha crecido en su contenido de transistores. La revolución del cambio tecnológico se ha dado como una avalancha en la cual en plazos muy cortos los productos tecnológicos son sustituidos por otros más avanzados.

En este alud, no pocas personas han detenido su pensamiento sobre cuál será el futuro de las sociedades de consumo; al respecto, han sido desarrolladas teorías y conceptos que buscan dar sentido a este cambio, e incluso explicarlo con el fin de predecir escenarios futuros; nada más interesante y aventurado que esto.

Se sabe de diversas concepciones del futuro a través de la literatura o del cine. Así como de intentos más formales que pretenden aportar elementos para construir escenarios futuros; por ejemplo, Gordon E. Moore publicó en 1965 la Ley²⁰¹ que hoy lleva su nombre la cual establece que aproximadamente cada 18 meses se duplica el número de transistores que contienen los circuitos integrados; actualmente, este patrón se ha venido cumpliendo, por lo cual se ha calificado como una ley.

Si bien los circuitos integrados son hoy capaces de realizar labores inimaginables, al día de hoy la humanidad no cuenta aún con el teletransportador de Star Trek o los autos voladores de Los Supersónicos, tal y como predijeron el cine y la televisión que sería el siglo XXI. Al principio de la década de los 70, los constructores de aviones para pasajeros europeos apostaron que los viajes supersónicos serían el futuro de la aviación; los constructores americanos apostaron por aviones que transportaran en mayor volumen posible de pasajeros y carga. Hoy, treinta años después, el avión franco-británico Concorde es una pieza de museo, mientras que su contemporáneo, el Boeing 747 sigue surcando los cielos.

201 Moore, Gordon E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. Electronics Magazine. Pág. 4. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. Prospectiva. Un enfoque estratégico. FI-UNAM. 2009.

¿A qué obedece entonces el éxito de un escenario futuro? ¿Es acaso el futuro una estadía en el tiempo producto totalmente del azar, o acaso puede alguien construir su propio escenario futuro a partir de la manipulación del presente?

Estas preguntas han alimentado por años la imaginación de los analistas de las publicaciones especializadas, y sus comentarios de ninguna manera pueden ser ignorados, simplemente por el hecho de la proporción que el mercado tecnológico representa en la economía mundial.

Simple y sencillamente estas inquietudes se enmarcan en una de las aspiraciones más añejas del ser humano: conocer el futuro.

El desarrollo de la prospectiva incluye por sí mismo conceptos que ameritarían una serie de obras para explicarlos a satisfacción. Por lo anterior, el alcance de este capítulo es proporcionar los conceptos básicos sobre la prospectiva, así como los más elementales que resultan indispensables para su mejor comprensión en el entorno de la gestión de la tecnología.

Las definiciones aquí vertidas se aplican sobre el concepto general de una organización. Una organización es la unión de dos o más personas que bajo ciertas reglas buscan obtener un fin común. Podría resultar poco consistente utilizar el término organización como actor principal de estas teorías, en lugar de utilizar el de empresa; para los teóricos de la administración, una posible diferencia entre organización y empresa es que la primera no necesariamente genera utilidades (como una organización no gubernamental o una fundación), situación que para la segunda es una obligación.

Bajo este concepto, las organizaciones y las empresas trabajan sin mucha diferencia en la aplicación de la planeación estratégica. Por este motivo, se utiliza a la organización como personaje focal.

4.1 Planeación estratégica.

La planeación estratégica es una técnica administrativa que se fundamenta en el cumplimiento de objetivos. El cumplimiento de los objetivos de la organización se logra a través del desarrollo de líneas de acción denominadas estrategias. Estrategia es un concepto de origen militar y se considera como el arte de dirigir a los ejércitos. En un concepto más amplio, una estrategia es un proceso controlable conformado por un conjunto de reglas que permiten la toma de decisiones óptima.

El establecimiento de una estrategia requiere una definición muy estricta y cuidadosa de la organización. Parte de asumir una misión y una visión, así como de compartir y practicar los mismos valores dentro de ella. Estos tres conceptos son los elementos que rigen y garantizan la supervivencia y la evolución de los individuos y de las organizaciones.

La misión permite hacer conciencia de la labor en el mercado, la visión establece las metas y objetivos, a grandes rasgos, que se quieren llegar a alcanzar; por último los valores definen la forma de trabajar y de existir para alcanzar la visión.

Misión

La misión es la razón de ser de la organización; implica a las necesidades que se cubren con sus productos y servicios, el mercado en el cual se desarrolla la empresa y la imagen pública de la empresa u organización.

La misión de la organización es la respuesta a la pregunta ¿Para qué existe la organización?²⁰²

Visión

La visión define y describe la situación futura que desea tener la empresa, el propósito de la visión es guiar, controlar y alentar a la organización en su conjunto para alcanzar el estado deseable de la organización.

La visión de la empresa es la respuesta a la pregunta, ¿Qué queremos que sea la organización en los próximos años?²⁰³

Valores

Los valores definen el conjunto de principios, creencias, reglas que regulan la gestión de la organización. Constituyen la filosofía institucional y el soporte de la cultura organizacional.

El objetivo básico de la definición de valores corporativos es el de tener un marco de referencia que inspire y regule la vida de la organización. Los valores son la respuesta a la pregunta, ¿En que se cree y como se es?²⁰⁴

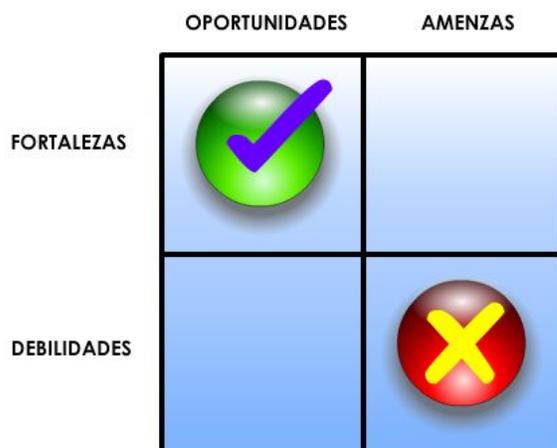
De la misma forma en que la misión, visión y valores conforman los cimientos, es necesario un profundo conocimiento al interior, así como de todos los elementos que conforman el ambiente en el cual se desarrolla la organización. Esta información se obtiene a través del desarrollo de un estudio FODA. El estudio FODA no es otra cosa que una matriz que enfrenta los aspectos internos de la organización (**F**ortalezas y **D**ebilidades) con las principales características del entorno exterior (**O**portunidades y **A**menazas). El estudio FODA permite conocer las relaciones virtuosas **Fortaleza – Oportunidad** así como las relaciones perversas **Debilidad – Amenaza**, Como se esquematiza en la figura 37.

202 Web and Macros. Misión, Visión y Valores. http://www.webandmacros.com/Mision_Vision_Valores_CMI.htm. Consultada el 9 de Agosto del 2009. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. Prospectiva. Un enfoque estratégico. FI-UNAM. 2009.

203 Idem.

204 Idem.

Figura 37. Matriz de análisis FODA.



FUENTE: Pinilla Morán, Víctor Damián. *Prospectiva. Un enfoque estratégico*. FI-UNAM. 2009.

Todos estos elementos permiten crear un conjunto operativo: las organizaciones establecen sus estrategias mediante las cuales se aprovechan sus fortalezas para explotar las oportunidades del entorno y se reducen sus debilidades con el fin de ser inmunes a las amenazas externas, todo para cumplir con su misión y alcanzar su visión, siempre basándose en sus valores.

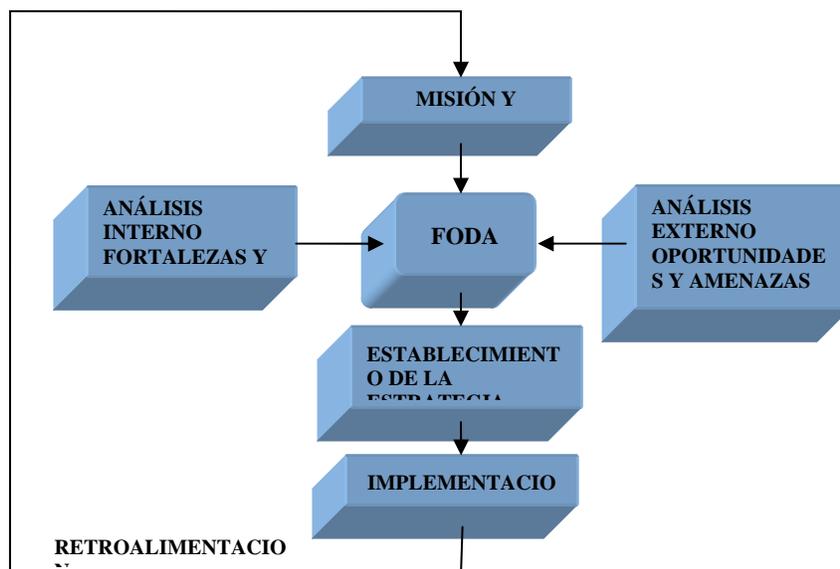
El plazo en que las estrategias deben rendir resultados es variable; normalmente depende del tamaño de la organización. Las unidades funcionales suelen tener lapsos cortos para ofrecer resultados y conforme crece la unidad, sus metas se ubican a mayores plazos; la planeación estratégica que aplican los gobiernos de varias naciones suelen alcanzar plazos de hasta 30 años.

Sin embargo, la temporalidad no implica que las estrategias no sean constantemente revisadas, ya que no es permisible que tenga que transcurrir el plazo establecido para comprobar que no se alcanzaron los objetivos inicialmente establecidos.

El análisis FODA se realiza a partir de variables que la propia organización define. Estas variables conforman el proceso estratégico de la misma y pueden ser cuantitativas (como los indicadores contables y financieros) o cualitativas (percepción sobre la organización, satisfacción de usuarios, etc.).

Las variables que conforman los modelos estratégicos deben ser constantemente monitoreadas; este monitoreo junto con el establecimiento de metas parciales, permite reorientar a las estrategias para que, considerando un entorno cambiante, pueda contarse con una alta probabilidad de alcanzar el éxito.

Figura 38. Esquema general de un proceso estratégico.



FUENTE: Fernández Sánchez, E. y Fernández Casariego, Z. Manual de dirección estratégica de la tecnología, La producción como ventaja competitiva. Editorial Ariel Economía, 1988.

Día a día las organizaciones afinan sus modelos de planeación estratégica conforme a sus particularidades; esta adaptación contempla también experiencias ajenas, exitosas o no. Finalmente, el éxito en la aplicación de una estrategia se logra cuando su implantación es un proceso participativo y responsable de todos los componentes de la organización, así como de la disciplina mostrada en la aplicación de la misma.

4.2 El insumo tecnológico.

La idea generalmente aceptada sobre el concepto de tecnología se refiere a la manera (incluyendo los instrumentos) para realizar cierta tarea. No debe confundirse a la tecnología con la técnica; la técnica es la habilidad para realizar una tarea. Entonces, siendo la tecnología un proceso, requiere de la técnica de quienes realizan dicho proceso para obtener el mejor de los éxitos.

Actualmente, para las organizaciones la forma de realizar alguna tarea es un proceso multifactorial cuyo éxito radica primordialmente en la consideración y control del mayor número de variables que intervienen en ella.

Cabe aclarar que el número de variables que intervienen debe ser aquel que comprende a las que tienen un impacto significativo dentro del proceso. Estas

variables son, en parte, aquellas que participan en el análisis FODA y, en consecuencia, en la misión, visión y los valores de la organización.

Los estrategias de las organizaciones deben contar con las habilidades necesarias para utilizar los métodos cuantitativos y cualitativos específicos para detectar estas variables significativas.

La determinación de estas variables debe hacerse en dos sentidos: hacia el interior de la organización y hacia fuera de la misma, tomando en cuenta el ambiente en el que ésta se desempeña.

Esta consideración ha sido ampliamente utilizada por quienes se han dedicado al estudio de la tecnología, en un contexto amplio más allá de su significado generalmente aceptado. Inicialmente, estos modelos están encaminados a la administración de la tecnología.

Ocurre que dada la importancia que toma la tecnología en los procesos económicos a cualquier escala, en el marco de un proceso estratégico es necesario contar con técnicas específicas para administrar al insumo tecnológico. Se entenderá entonces por administración de la tecnología como la planeación, organización, ejecución y control de todos los elementos inherentes al insumo tecnológico.

Cuando se concibe a la tecnología en un sentido amplio, como un proceso estratégico, se le denomina insumo tecnológico.

Ahora bien, resta definir cuáles son los elementos inherentes al insumo tecnológico. Para clarificarlos, desde un punto de vista amplio e incluyente, pueden clasificarse en dos: externos e internos.

Los elementos externos son aquellos que pertenecen al ambiente en el cual se desenvuelve la organización:

- Legal
- Científico
- Económico
- Social
- Político
- Tecnológico
- Cultural

Es pertinente comentar que a partir de estos elementos externos pueden obtenerse un número muy amplio de variables influyentes en el insumo tecnológico. Esta situación implica que deben existir expertos (internos o externos) en la organización encargados de la administración del insumo tecnológico y no sólo usuarios del mismo.

Sobre los modelos internos del insumo tecnológico se tienen muchas versiones. Por su sencillez y amplitud se elige el siguiente modelo propuesto por Valdés Hernández [2005], el cual clasifica en tres dimensiones (o vectores), los componentes del insumo tecnológico, esquematizados en la figura 39:

1. Misión
2. Estructura organizacional
3. Tipo de tecnología

Figura 39. Modelo vectorial del insumo tecnológico.



FUENTE: Giral B., José y González, Sergio. Estrategia Tecnológica Integral. 1986.

El primer vector o vector misión es la guía de todo el insumo. La misión de la organización debe estar siempre orientada hacia el mercado en el cual se ubica el insumo; sin mercado, no puede existir la misión de la organización y una organización sin misión está condenada a desaparecer.

Económicamente, los mercados los conforman los bienes o servicios ofrecidos así como los consumidores que buscan satisfacer sus necesidades.

En consecuencia, la misión debe orientarse hacia las necesidades de los consumidores; si el producto del insumo tecnológico no satisface alguna necesidad, no tiene permanencia en el mercado, a excepción claro está de que la necesidad sea creada. En consecuencia, la estrategia está implícitamente incluida en este primer vector.

El segundo vector comprende a la organización en sí misma, es decir, a los recursos humanos y la forma en que están organizados. Este vector incluye los logros personales como los obtenidos por los equipos de trabajo y al clima organizacional.

El vector de la organización se fundamenta en el organigrama de la misma, en sus relaciones entre sus organismos, sus tramos de control, su dinámica en el sentido de ser estructuras rígidas o dinámicas, en los grados de especialización, delegación, niveles jerárquicos, coordinación, etc. Naturalmente, todos estos elementos conforman el clima organizacional que repercute directamente en la satisfacción del trabajador.

El tercer vector corresponde propiamente a los procedimientos y la infraestructura necesaria para obtener los bienes o servicios que produce la organización. Denominado también vector tecnológico, debido a que se constituye en el diseño de transformación; coloquialmente, corresponde al *Know-how* (saber-cómo) para obtener el producto, así como los equipos y herramientas necesarios.

Dentro del tercer vector se delimitan tres elementos (o causas) y la consecuencia de ellos. Las tres causas son:

1. **Proceso.** Es el conocimiento científico básico producto del trabajo teórico encaminado a obtener el bien o servicio.
2. **Operación.** Es la experiencia necesaria en el desarrollo del proceso. Esta experiencia es el producto de la puesta en marcha durante el tiempo del proceso y conforma un activo de vital importancia para la organización. La experiencia de los trabajadores en la producción de los bienes y servicios es la diferencia entre el éxito o el fracaso. Es por lo anterior que son muchas las técnicas utilizadas para que la organización conserve este activo intangible pese a la rotación de personal. A estas técnicas se les conoce como administración del conocimiento o asimilación tecnológica (entre otras) y se fundamentan en la documentación constante y total de la actividad de la organización.
3. **Equipo.** Se refiere a la infraestructura y el instrumental necesario para obtener el producto.

Estas tres causas tienen como efecto al producto. El producto es entonces la consecuencia de los procesos, de la operación y del equipo utilizado. Estas tecnologías que se logran a través de la forma en que se constituye la organización, generan un producto. Si todos estos elementos siguen al vector misión, se tiene entonces un proceso estratégico para administrar el insumo tecnológico.²⁰⁵

205 E. Ames y N. Rosenberg. El Cambio del Liderazgo y El Crecimiento Industrial. Lecturas 31, Economía del cambio tecnológico, Fondo de Cultura Económica, México, 1979. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. *Prospectiva. Un enfoque estratégico*. FI-UNAM. 2009.

4.3 El futuro.

Al incursionar en el desarrollo de prospectivas, se debe aceptar que es el humano quien crea su futuro, de acuerdo a sus expectativas y deseos. Viktor Frankl aseveró que es una característica exclusiva de los hombres proyectarse en el futuro. Por lo anterior es muy pertinente conocer distintas perspectivas utilizadas para concebir escenarios futuros. (ver Cuadro 3)

Cuadro 3. Vías de aproximación al futuro.

FUTURO	PRESENTE	PASADO
←	<p align="center">PRONÓSTICO</p> <p>Se refiere al desarrollo de eventos futuros generalmente probables; representa juicios razonados sobre algún resultado particular que se cree el más adecuado para servir como base de un programa de acción.</p>	
←	-----	<p align="center">PROFERENCIA</p> <p>Serie de técnicas con base en la experiencia. Se fundamenta en el pasado para construir el futuro.</p>
←	<p align="center">PREDICCIÓN</p> <p>Se basa en teorías determinísticas y presenta enunciados que intentan ser exactos respecto a lo que sucederá en el futuro.</p>	
←	<p align="center">PREVISIÓN</p> <p>Pretende dar una idea de los sucesos probables a los cuales será preciso adaptarse, conduciendo a decisiones inmediatamente ejecutables.</p>	
←	<p align="center">PROYECCIÓN</p> <p>Brinda información sobre la trayectoria de un evento asumiendo la continuidad del patrón histórico. Provee una serie de alternativas a considerar.</p>	-----←
<p align="center">PROSPECTIVA</p> <p>Consiste en atraer y concentrar la atención sobre el futuro, imaginándolo a partir de éste y no del presente.</p>	→	

FUENTE: Miklos, Tomás y Tello, Ma. Elena. Planeación prospectiva. Editorial Limusa. México, 1997.

Analizando dos de estas ópticas de estudio; Pronóstico y Prospectiva son términos que coinciden en referirse al futuro, pero no son idénticos. Razonando el concepto lineal del tiempo. Mientras que el pasado son los eventos que ya ocurrieron, y que normalmente son conocidos, el futuro son los eventos que están por ocurrir y son, en mayor o menor medida, desconocidos.

Un pronóstico es una conjetura sobre un evento futuro. Esta conjetura se obtiene a partir de dos métodos generales:

1. **Métodos cualitativos.** Son aquellos que se basan en las experiencias de las personas o grupos que los emiten.
2. **Métodos cuantitativos.** Son aquellos que utilizan métodos estadísticos para proyectar los valores de determinadas variables en momentos futuros.

Una prospectiva es diferente; implica imaginar un futuro deseado en el tiempo, y desde ahí, modificar el presente para que, con cierta confianza, se alcance ese futuro.

Tanto los métodos cualitativos como los cuantitativos requieren de la información pasada.

Todos hacemos pronósticos a diario: desde el clima que se prevalecerá por la tarde de cualquier día, por el valor que tendrán las divisas al término del año, por el resultado de cierto evento deportivo, etc. Resulta evidente que el pronóstico es inherente al concepto de probabilidad, a la tendencia de la ocurrencia de un evento.

Por otra parte, la prospectiva parte de un concepto diferente. La prospectiva parte de imaginar el futuro, ubicándose en un escenario futuro imaginario, que puede o no ser el deseable. Este escenario futuro debe estar plenamente definido, y una vez que esto se ha logrado, se deben establecer cuáles deben ser las medidas o los cambios que se tomen en el presente para que se produzca dicho escenario posible.

Este concepto genera debates al respecto de la inquietud de que cada persona, organización o país es capaz de crear su propio futuro, o por otra parte, si el futuro es una secuencia de eventos aleatorios.

La prospectiva también puede obtenerse a partir de métodos cualitativos y cuantitativos y, por supuesto, pueden utilizarse pronósticos para lograrla.

Por los motivos ya expresados, tanto el pronóstico como la prospectiva se han vuelto herramientas fundamentales para la toma de decisiones de las organizaciones.

4.4 Desarrollo de la prospectiva.

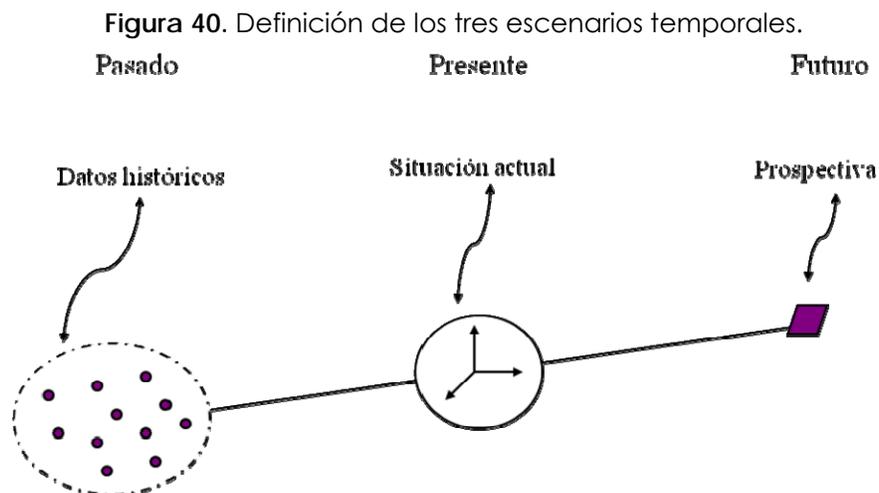
El establecimiento de una prospectiva requiere partir de un proceso estratégico. Cuando la organización cuenta con una planeación estratégica se tiene en claro las variables que conforman nuestro insumo tecnológico y que forman parte de las estrategias que permitirán cumplir con su misión y la visión.

El desarrollo de una prospectiva inicia precisamente en esas variables y de sus valores en distintas etapas de la vida de la organización. El primer paso es establecer plenamente los valores que tienen esas variables en el momento actual. Al valor del insumo tecnológico en el momento actual se le denomina diagnóstico.

Una vez definido el diagnóstico, se procede a conocer el valor del insumo tecnológico en un momento en el pasado de la organización; a este segundo punto se le conoce como proyección.

A las organizaciones que han adoptado recientemente procesos estratégicos les puede resultar complicado el establecer con plenitud el diagnóstico. Otro aspecto a considerar debe ser el período hacia el pasado pertinente. Estas situaciones deben resolverse utilizando criterios amplios y flexibles, basándose en la historia de la organización y en los puntos de inflexión que se hayan dado en ésta.

Una vez conocidos estos dos puntos temporales, diagnóstico y proyección, comienza el proceso prospectivo. Geométricamente hablando, se requieren dos puntos para definir una línea recta. Imagínese pues, que si se ubica en un mismo plano al diagnóstico y a la proyección se pueden unir ambos puntos con una línea recta. Ahora bien, si proyectamos esa línea recta hacia un estado en el tiempo hacia el futuro, tendremos un tercer punto, al que llamaremos propiamente, prospectiva.



FUENTE: Periódico Reforma. Sección: Ciencia. Fecha: 28 de Junio de 2007.

Este punto, ubicado en el futuro, producto de la proyección y del diagnóstico se le conoce como futuro inercial, ya que será el resultado de la actividad de la organización, en las circunstancias actuales, en el futuro.

Ahora bien, el futuro inercial no es la única prospectiva que existe; de acuerdo a su propia definición, el objetivo de la prospectiva es tomar ciertas acciones en el presente para lograr el futuro que la organización desea. Por lo tanto, en el mismo futuro pueden establecerse otros puntos adicionales, producto del proceso estratégico de la organización. A estos nuevos puntos se les conoce como situaciones futuras, o futuribles. Por su importancia, se profundiza en la forma de diseñar estos escenarios futuros²⁰⁶. En conjunto, éstos son:

- **Futuro inercial o Tendencial.** Es una extrapolación basada en las estructuras del presente; responde a la pregunta: ¿qué pasaría sin ningún cambio o esfuerzo adicional?
- **Futuro Utópico.** Es un escenario extremo de lo deseable con estructuras potencialmente diferentes a las actuales. Responde a la pregunta: ¿qué pasaría si todo sale bien?
- **Futuro Catastrófico.** Es el escenario de lo indeseable; se ubica en el extremo de lo temible, Responde a la pregunta: ¿qué pasaría si todo sale mal?
- **Futurible.** Escenario propuesto; lo más cercano a lo deseable y superior a lo posible, pero aún factible. Es un producto de la elaboración y selección de futuros a partir del análisis retrospectivo y coyuntural, es el futuro escogido entre otros. El futurible es el futuro deseable y posible aprovechando un pasado y un presente conocidos con relativa suficiencia.

En particular, los futuribles son producto de la propia organización, constituyen el pleno ejercicio de establecer que el cumplimiento de su misión y visión no son cosa del azar y que está en sus propias manos el lograrlas.

Los futuribles en pocas ocasiones coinciden con el futuro inercial. A la diferencia de condiciones entre el futurible y el futuro inercial se le conoce como brecha, en nuestro caso, brecha tecnológica.

Es común escuchar en los medios de comunicación especializados sobre las brechas entre los países pobres y ricos; este término se refiere a las distancias que hay entre dos escenarios distintos.

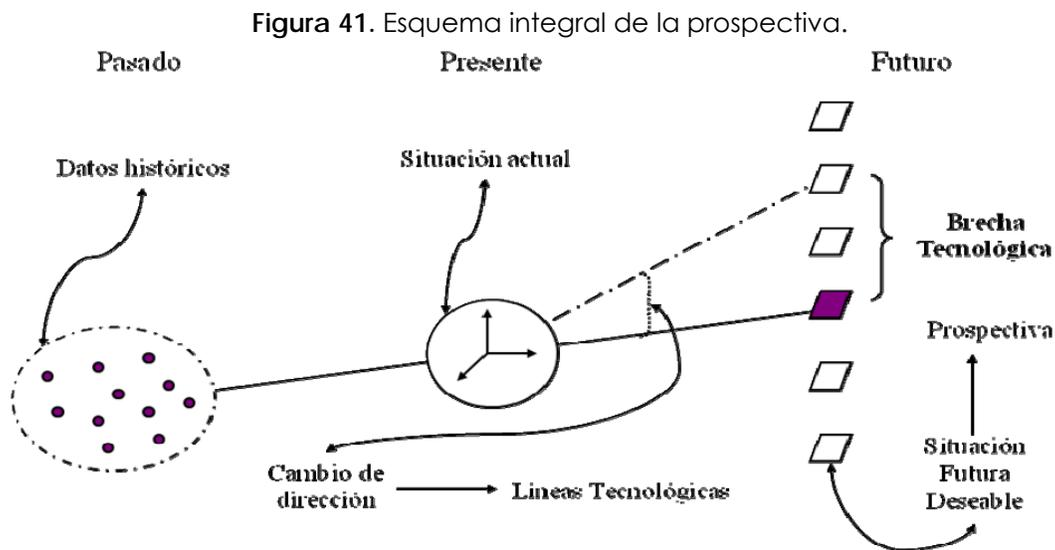
206 Miklos, Tomás, Arroyo Margarita. Prospectiva y Escenarios para el Cambio Social. Serie Working Papers, FCPS-UNAM. México 2008. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. Prospectiva. Un enfoque estratégico. FI-UNAM. 2009.

Una vez que se conocen el diagnóstico, la proyección, el futuro inercial y los futuribles, la organización puede ya cuestionar a su propia planeación estratégica, en el sentido de analizar si los planes que se encuentran en actual aplicación podrán conducirlos al futuro deseado. Es entonces donde puede hablarse que la organización crea su propio futuro.

El escenario más común será aquel que implique la existencia de una brecha tecnológica, lo que implica que la línea que une a los tres puntos debe quebrarse justo después de la situación actual orientándose hacia el futuro deseable.

4.4.1 Líneas tecnológicas.

La línea recta representa a las estrategias que implanta la organización. Si se desea que el destino futuro sea otro, las estrategias deben ser modificadas. Este cambio de dirección se logra a través de modelos denominados líneas tecnológicas.



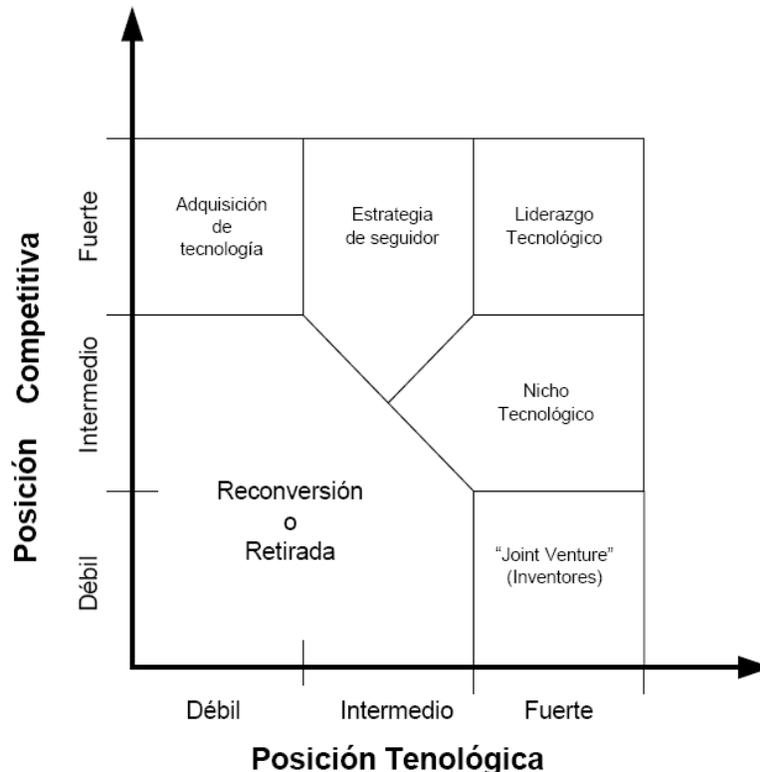
FUENTE: Periódico Reforma. Sección: Ciencia. Fecha: 28 de Junio de 2007.

Las líneas tecnológicas siempre están alineadas con la misión, visión y valores de la organización y son indispensables para lograr su cumplimiento. Incluso puede afirmarse que la cultura de la organización corresponde directamente a la línea tecnológica elegida.

La definición de las líneas tecnológicas se hacen en función de dos variables: la posición competitiva y la posición tecnológica de la organización.

Son seis las líneas tecnológicas definidas²⁰⁷, las cuales se muestran gráficamente:

Figura 42. Líneas tecnológicas.



FUENTE: Magee, J.P. Managing Technology In A Strategic Context. IX Congress International de Planificación d'Enterprise, París, 1983.

1. **Joint Venture.** El término Joint Venture significa aventura conjunta. Esta estrategia se logra cuando existe una fuerte posición tecnológica pero una muy débil posición competitiva. El ejemplo más claro corresponde al estereotipo de un inventor. Tradicionalmente los inventores son los creadores de ideas novedosas y potencialmente exitosas dentro del mercado, pero carecen de los recursos económicos para comercializarlas. La aventura conjunta se origina cuando el inventor logra establecer una sociedad con determinado organismo, que puede ser un banco o alguna empresa, que le permite fructificar su trabajo. Esta estrategia es comúnmente el inicio de los desarrollos e innovaciones tecnológicas.
2. **Nicho tecnológico.** Esta estrategia busca explotar nichos o lagunas en el mercado a partir de una posición tecnológica fuerte. Obedece a los productos específicamente dirigidos a satisfacer ciertas necesidades, mismas que aún no crean un mercado en expansión pero que permiten a las organizaciones obtener beneficios.

²⁰⁷ Reyes García, Fernando Enrique. Definir Una Estrategia De Uso de la Energía Eólica Para Generar Electricidad en México. Facultad de Ingeniería, UNAM. 2007. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. Prospectiva. Un enfoque estratégico. FI-UNAM. 2009.

3. **Liderazgo tecnológico.** Corresponde a organizaciones con fuertes posiciones competitivas y tecnológicas. Estas organizaciones dominan los mercados y son la pauta a seguir por otras que crean productos complementarios.
4. **Seguidor.** La estrategia de seguidor consiste, como su nombre lo dice, en seguir de cerca al líder. Los seguidores tecnológicos tienen una importante posición competitiva, pero se deslindan de actividades de investigación y desarrollo. Esto implica que toman los productos creados por los líderes e invierten recursos en su comercialización. Es una estrategia comúnmente aceptada por las culturas orientales, en las cuales la concepción de copiar ideas resulta un halago para el creador, más allá de ser un delito en la conceptualización de las culturas occidentales. Las organizaciones que utilizan la estrategia de seguidor pueden, si el líder comete un error, tomar su lugar.
5. **Adquisición.** Las organizaciones que siguen esta estrategia son, en su mayoría, aquellas que se deslindan totalmente de la investigación y desarrollo de tecnología. Adquieren los insumos tecnológicos, o cuando más, patentes y licencias y son exclusivamente usuarios de las mismas; se dedican principalmente a proporcionar servicios. Esta estrategia implica una fuerte posición competitiva pero, al no participar en los procesos de investigación y desarrollo no poseen posición tecnológica; en consecuencia tienen una dependencia absoluta ya sea de los seguidores o de los líderes tecnológicos.
6. **Reconversión o retirada.** Las organizaciones con posiciones intermedias o débiles competitiva y tecnológicamente hablando deben considerar el moverse a cualquiera de los otros cinco segmentos. Cuando optan por modificar sus insumos tecnológicos hacia cualquiera de estos segmentos se dice que optaron por la reconversión. Sin embargo, cuando la relación costo – beneficio de esta decisión no es favorable, lo mejor es la retirada del mercado.

La decisión de modificar la línea tecnológica de una organización no es un proceso trivial. De hecho, es un proceso que debe ser escrupulosamente planeado y en ocasiones requiere de tiempo y paciencia.

Cambio de líneas tecnológicas

El cambio de la línea tecnológica que sigue cualquier organización implica a su vez cambios en los procesos de transformación. Estos cambios, cuando implican mejoras tecnológicas y se clasifican en función de la permanencia en el mercado del producto surgido, de esta manera se mejora.

- Si hay permanencia, se le denomina innovación tecnológica.
- Si no hay permanencia, se le denomina desarrollo tecnológico.

El tiempo es esencial en los procesos de innovación; una innovación debe entrar en su justo tiempo al mercado.

Son dos los aspectos que deben ser fuertemente considerados por las organizaciones cuando se pretende hacer un cambio de línea tecnológica, a saber, la asimilación de la tecnología y el grado de dependencia tecnológica, son en realidad temas con fuerte impacto y de ahí la importancia de considerarlos con seriedad.

La asimilación de tecnología es un proceso de aprovechamiento racional y sistemático del conocimiento, por el cual, el que tiene una tecnología, profundiza en su conocimiento incrementando notablemente su avance en la curva de aprendizaje respecto al tiempo. Sus objetivos son: primero, ser competitivos; segundo, ser capaces de generar optimizaciones que incrementen calidad y productividad.

La asimilación de tecnología no es un fin en sí mismo, sino un medio para que las funciones técnicas produzcan un bien o servicio se realicen lo más eficientemente posible, debido a que cuentan con la mejor información y conocimientos disponibles. La asimilación de tecnología consta de tres actividades:

1. Documentación y difusión
2. Capacitación del personal
3. Actualización constante

Los motivos para generar procesos de asimilación de tecnología son varios, destacando:

- El conocimiento detallado del proceso, el cual se ve constantemente mejorado debido a innovaciones menores que se efectúan bajo control.
- Para incrementar la calidad
- Facilita la capacitación del personal de nuevo ingreso, reduciendo los problemas inherentes a la rotación de personal.
- Reducción de costos
- Permite negociaciones con los licenciarios tecnológicos en beneficio de la organización.

No existe una receta para lograr la asimilación de la tecnología. No obstante, se debe definir en dónde se está y a dónde se quiere llegar en materia tecnológica; esto se basa en el grado de asimilación tecnológica.²⁰⁸

Existen seis grados de asimilación tecnológica, los cuales se definen en función del enfoque interno y externo a la organización y del impacto en la competitividad interno y externo a la organización.

1. **Dependencia completa.** Se desconoce el producto y el proceso. Las decisiones están en manos del propietario de la tecnología.
2. **Dependencia relativa.** Hay experiencia en producir el producto. Las decisiones locales se limitan a nivel de pregunta o sugerencia con base en criterios propios. No se conoce la flexibilidad del proceso.
3. **Creatividad incipiente.** Se inician adaptaciones y sustituciones en materias primas, diseño y especificaciones mínimas adecuadas. Cualquier modificación requiere de la participación del licenciador.
4. **No dependencia.** Se empieza a capitalizar el cambio menor. La mejora evolutiva y la curva del aprendizaje, basándose en la operación de la misma planta.
5. **Autosuficiencia.** Se generan productos y procesos nuevos por extrapolación. Se puede competir con el licenciatarario en nuestro mercado, sin necesidad de protección contra las importaciones. No hay dependencia de un solo proveedor de materia prima, equipo, refacciones o servicio.
6. **Excelencia.** Se tienen procesos que optimizan el uso de los recursos propios en forma totalmente competitiva. Se domina el mercado y se tiene una fuerte posición de negociación con proveedores.

Se dice que se logra la transferencia de tecnología cuando una organización es capaz de trasladar y asimilar la tecnología.

No obstante, la transferencia tecnológica está mundialmente protegida por los gobiernos a través de varios instrumentos legales, conocidos en conjunto como propiedad intelectual.

208 E. Ames y N. Rosenberg. El Cambio del Liderazgo y El Crecimiento Industrial. Lecturas 31, Economía del cambio tecnológico, Fondo de Cultura Económica, México, 1979. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. *Prospectiva. Un enfoque estratégico*. FI-UNAM. 2009.

4.4.2 Componentes básicos de la prospectiva.

De acuerdo con Miklos y Tello²⁰⁹, son seis los elementos que deben conformar una prospectiva:

1. **Visión holística.** Holístico significa que la realidad bajo estudio es diferente cuando se considera la interacción de las partes que la conforman más allá de la mera suma de ellas. Esta visión implica considerar las relaciones y la influencia entre las variables ya que estas conforman el todo.
2. **Creatividad.** La creatividad es la cualidad humana que le permite sobrevivir en el tiempo. El humano creativo construye mejores soluciones que los que no lo son ya que se sale de las normas. Al imaginar un escenario futuro no es posible sostener paradigmas y normas de conducta vigentes en el presente.
3. **Participación.** Debe buscarse un consenso o un acuerdo entre todas las partes participantes. En principio, la participación permite el intercambio de ideas y puntos de vista lo que obliga a generar escenarios más completos. También, a través de las controversias, se exploran aspectos poco considerados.
4. **Premiencia del proceso sobre el producto.** Por muy cuidadoso que sea la construcción de la prospectiva, así como la puesta en marcha de las estrategias producto de ésta, es muy poco probable que el escenario futuro deseado sea exactamente igual al inicialmente imaginado. Por lo anterior, el resultado final será, en mayor o menor medida, parecido al imaginado (podría incluso manejarse un concepto similar a una tolerancia prospectiva). Si el éxito del proceso se mide en función de la exactitud del futuro obtenido, se estará dejando de lado todos los cambios producto de la implantación de la estrategia, que puede ser incluso, más importante que el posible resultado.
5. **Convergencia – Divergencia.** Un proceso prospectivo permite a los actores expresar sus puntos de vista, los cuales difícilmente serán coincidentes. Sin embargo, en el diseño prospectivo, todas estas diferentes ópticas deben converger en el futuro deseado.
6. **Finalidad constructora.** Un proceso prospectivo no se conforma con la imaginación de los futuros deseados. Su fin único es construir el futuro. Esto implica que todos los involucrados en el proceso deben unir sus esfuerzos para obtener el resultado esperado. Dado lo anterior, la prospectiva tiene un alcance, que a su vez posee dos componentes: el conceptual y el práctico.

209 Miklos, Tomás y Tello, Ma. Elena. Planeación prospectiva. Editorial Limusa. México, 1997. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. *Prospectiva. Un enfoque estratégico*. FI-UNAM. 2009.

El alcance conceptual implica toda la predisposición hacia la capacidad de construcción el futuro, con base en la imaginación y creatividad de las personas y las organizaciones. De este alcance conceptual se derivan las estrategias prospectivas.

El segundo alcance implica esfuerzos mayores, ya que se trata de llevar a la práctica a las estrategias conceptualmente definidas.

4.4.3 Fases de la prospectiva.

Cualquier metodología prospectiva debe contener cuatro etapas²¹⁰:

1. **Normativa.** Comprende dos etapas: la definición del futuro deseable y la del futuro inercial. El diseño del futuro deseable debe crearse desde cero, con la mayor participación posible de ópticas heterogéneas de tal forma que se obligue a que formulen todos los objetivos posibles; posteriormente, en forma holística, la idealización del futuro deseable obliga que los participantes tomen conciencia de los límites y alcances del escenario establecido. Se percibe que esto es un conglomerado de ideales, y como tales no son tangibles. Lo que sí debe resultar tangible es que en esta idealización deben permanecer siempre presentes y vigentes los valores de la organización. Esta última afirmación resulta un reto para los estudiosos de la axiología, ya que muchas personas podrían afirmar que los valores están vigentes en determinados períodos de tiempo; es por lo anterior que la determinación de los valores es un reto para las organizaciones, ya que deben elegirse valores propios de un ideal capaz de un mejoramiento continuo y no de ideales superficiales.

Por otra parte, al establecer el futuro inercial se echa mano de las técnicas de la inferencia estadística para establecer pronósticos sobre las variables que componen a la estrategia de la organización.

2. **Definicional.** También llamada fase definatoria, ya que establece con precisión las características y valores de cada una de las variables que en su conjunto forman los futuros deseable e inercial. Deben hacerse estas definiciones considerando el punto de vista de los tomadores de decisiones ya que es sobre estos valores plenamente establecidos que la efectividad de la trayectoria es monitoreada.

210 Godet, Michel. Prospectiva y planificación estratégica. SG Editores. Barcelona, 1991.

3. **Confrontación estratégica y factibilidad.** En esta fase se hace una comparación entre el futuro deseado y la realidad, buscando la forma en que puedan converger, confrontando lo ideal con la realidad. Es un ejercicio que proyecta el futuro hacia el presente.
4. **Determinación estratégica y factibilidad.** Esta etapa establece, literalmente, la manera de hacer posible el futuro deseable. En este paso debe mantenerse irrestrictamente la congruencia entre la conceptualización y el desarrollo de la prospectiva: el actuar debe tener características holísticas, creativas, etc. Es por lo anterior que las estrategias no pueden ser monolíticas, ya que obedecen al menos a la creatividad de sus creadores. Las estrategias son entonces un proceso enriquecedor e innovador.

Estas cuatro etapas están en constante interacción.

4.4.4 Elaboración de escenarios.

Es la parte total de todo ejercicio prospectivo. Los escenarios (pasados, presentes o futuros) son construcciones conceptuales a partir de supuestos: representan una fotografía del fenómeno global que se desea analizar.

Los escenarios futuros representan visiones hipotéticas de futuro construidas a partir del desarrollo de un conjunto de premisas disponibles en el presente. Estas diferentes imágenes del futuro nos ayudan a comprender cómo las decisiones y las acciones que hoy tomamos pueden influir en nuestro futuro.

Elaborar escenarios es una forma de pensar el futuro. Debe servir para decidir lo que hay que hacer en el presente. No ponderan probabilidades sino que consideran posibilidades, no son la lista de cosas que se desearía que ocurriesen o que se piensa que deberían ocurrir, sino un conjunto de relatos sobre el futuro, consistentes, plausibles y que abarcan un amplio abanico de acontecimientos posibles.

Son muchas las técnicas o metodologías para la construcción de escenarios. De hecho, estas técnicas son las tradicionalmente utilizadas como métodos participativos para la detección de problemas o para la planeación, incluso son denominadas como técnicas heurísticas (la heurística es la capacidad de un sistema para realizar de forma inmediata innovaciones positivas para sus fines).

Miklos nos ofrece un resumen muy pertinente que permite tener un estupendo panorama de las técnicas más utilizadas en la determinación de los escenarios (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Técnicas para establecer escenarios.

Cualitativas	Mixtas	Cuantitativas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Analogías 2. Árbol de pertinencia 3. Compass 4. Conferencia de búsqueda 5. Imágenes alternativas 6. Intuiciones sistemáticas 7. KJ 8. Mapeo contextual 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pronóstico tecnológico 2. Juegos de simulación 3. Matriz de decisión 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estadísticas bayesianas 2. Montecarlo 3. Técnicas econométricas
Instrumentos		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuestionario 2. Diferencial semántico 3. Escala de Guttman 4. Escala de Likert 5. Escala de Thurstone 6. Conferencia 7. Mesa redonda con interrogador 8. Entrevista 9. Poster 10. Promoción de ideas 		

FUENTE: Miklos, Tomás y Tello, Ma. Elena. Planeación prospectiva. Editorial Limusa. México, 1997.

La siguiente interrogante consiste en determinar cuál es la técnica idónea. El cuadro 5 nos ofrece un comparativo con base en el objetivo a perseguir.

Cuadro 5. Comparativo de Técnicas e Instrumentos.

SI SE REQUIERE	SI SE TIENE		SI SE ESPERA LA PARTICIPACION		SE RECOMIENDA
	DISPONIBILIDAD DE TIEMPO Y RECURSOS	COMO FACTORES CRÍTICOS, EL TIEMPO Y LOS RECURSOS	DE UN GRUPO NÚMEROSO	DE UN GRUPO ESTRATÉGICO	
DISEÑAR EL FUTURO DESEABLE	X		X		DELPHI DE TIEMPO REAL, ESCENARIOS.
		X		X	ESCENARIOS, ENTREVISTAS, CUESTIONARIOS, MESA REDONDA.
PERFILAR EL FUTURO PROBABLE	X			X	COMPASS, PRONÓSTICO TECNOLÓGICO, PROYECCIONES
		X		X	IMPACTOS CRUZADOS, PROYECCIONES, MAPEO CONTEXTUAL.
CONSTRUIR EL MODELO DE REALIDAD	X			X	MODELOS DE SIMULACIÓN, ESCENARIOS, JUEGOS DE SIMULACIÓN, ANÁLISIS DE FUERZAS, ARIOLE.
DISEÑAR ESTRATEGIAS GLOBALES	X			X	TKJ, MATRIZ DE DECISIÓN, ÁRBOL DE PERTINENCIA, CONFERENCIA DE BÚSQUEDA, ANÁLISIS DE FUERZAS.
SENSIBILIZAR A UN GRUPO SOBRE LA IMPORTANCIA DEL FUTURO		X		X	POSTER, IMÁGENES ALTERNATIVAS, PROYECCIONES, ESCENARIOS, INTUICIONES SISTEMÁTICAS.

FUENTE: Miklos, Tomás y Tello, Ma. Elena. Planeación prospectiva. Editorial Limusa. México, 1997.

Ambas tablas arrojan una importante conclusión: para obtener el mejor de los resultados, de acuerdo a la etapa en que se encuentra el diseño prospectivo, pueden utilizarse una o varias técnicas para el diseño de escenarios.

A manera de profundización, se presentará el panorama de la técnica de escenarios.

Técnica de escenarios

La técnica de escenarios se comenzó a utilizar a mediados de los cincuentas, dentro de los estudios estratégicos y militares desarrollados para el gobierno de los EU. Se trataba de identificar senderos de actuación alternativos y sus hipotéticos resultados en contextos diferentes, con el fin de orientar la toma de decisiones previniendo las posibles consecuencias de éstas para el orden mundial.

El procedimiento general para su elaboración consiste en describir los posibles estados futuros del actor/institución/problema de que se trata; después, se desarrolla un conjunto de estrategias posibles, y posteriormente se analiza, mediante simulación, el impacto de los contextos previstos sobre las estrategias consideradas, y viceversa. Dicha secuencia es repetida hasta que la estrategia ha adquirido el grado de sofisticación que la gestión requiere, con el fin de determinar la robustez de cada estrategia en un contexto cambiante.

La idea es prepararse para esos cambios y tener un referente válido y previamente probado acerca de cuáles son las estrategias más indicadas y cuáles las no aconsejables en cada caso.

Representa una técnica efectiva para afrontar la incertidumbre y es una alternativa idónea de reinterpretar y reorganizar la información recabada a través de otras técnicas, ya sean explícitamente anticipatorios (censos, análisis de series de tiempo, etc.) o no (entrevistas en profundidad, grupos de trabajo, entre otras).

La técnica de escenarios se desarrolla a partir de la matriz prospectiva. La matriz prospectiva es la guía para desarrollar el método, sistematizando los diferentes trabajos necesarios.

La matriz prospectiva consta de los siguientes elementos:²¹¹

- 1. Indicadores e índices.** Los indicadores son instrumentos utilizados para la medición del estado de cierta característica de un fenómeno. Los índices son valores estadísticos que poseen los indicadores.
- 2. Escenarios retrospectivos y coyunturales.** Los escenarios retrospectivos corresponden al análisis en el tiempo de las variables del proceso estratégico; son el diagnóstico y la proyección. Por otra parte, los escenarios coyunturales se conforman con las contingencias o emergencias que ocurren en el presente; en la mayoría de las ocasiones, resulta muy sencillo describir sus efectos y es complicado determinar sus causas.

211 Miklos, Tomás, Arroyo Margarita. Prospectiva y Escenarios para el Cambio Social. Serie Working Papers, FCPS-UNAM. México 2008. Cit. en Pinilla Morán, Víctor Damián. Prospectiva. Un enfoque estratégico. FI-UNAM. 2009.

3. **Escenarios de futuro.** Corresponde a los diversos escenarios: tendencial, utópico, catastrófico, futurible o deseable.
4. **Planeación estratégica, táctica, operativa; acciones y requerimientos.** Como se ha mencionado, la estrategia es la secuencia de acciones necesarias para cumplir con la misión de la organización. La estrategia son los esfuerzos sistemáticos que obedecen a la construcción de escenarios y que nos llevarán a concretarlos. La planeación táctica es el aterrizaje de la estratégica; implica los medios, tiempos, encargados e infraestructura necesarios para poner en marcha la estrategia. La planeación operativa es la asignación fina de tareas específicas así como su programación y cuantificación.
5. **Evaluación y seguimiento.** La evaluación es el contraste de la realidad conforme el proceso avanza, con el fin de realizar los ajustes necesarios para asegurar (en la medida de lo posible) el cumplimiento de los objetivos.

El proceso para su conformación es el siguiente:

1. Se Comienza por las estrategias definidas (líneas tecnológicas) para alcanzar el futuro deseable.
2. A partir del diagnóstico y la proyección se formula el futuro inercial y demás escenarios, dejando al final el futuro deseable.

Bajo este formato y conducción de taller, la matriz prospectiva permite identificar los escenarios deseables y los no deseables, así como las tendencias a modificar para producir el cambio requerido para, finalmente, alcanzar el escenario propuesto.

VALORACIÓN		RETROSPECTIVA Y COYUNTURA		PLANEACIÓN PROSPECTIVA			
		Análisis		Escenarios 2010-20...			
Indicadores	Índices	Pasado	Presente	Tendencial	Catastrófico	Utópico	Futurible

PLANEACIÓN ESTRATÉGICA				
ESCENARIOS ESTRATÉGICOS				
2010	2015	2020	2025	20...

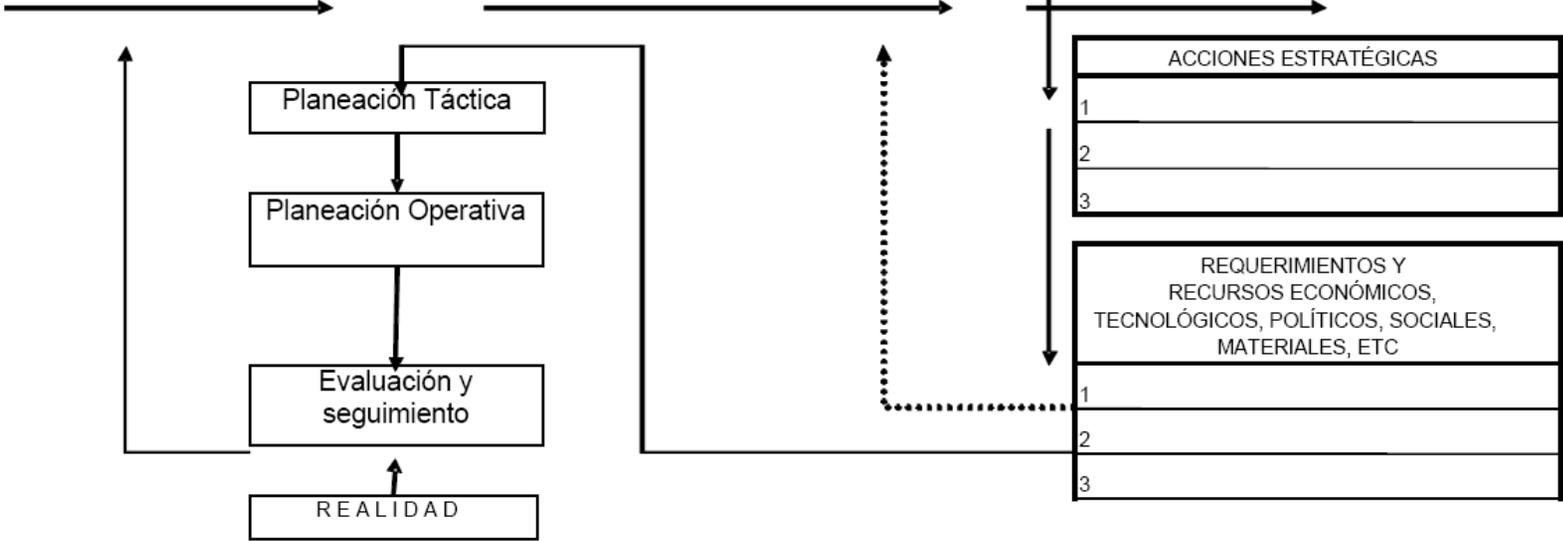


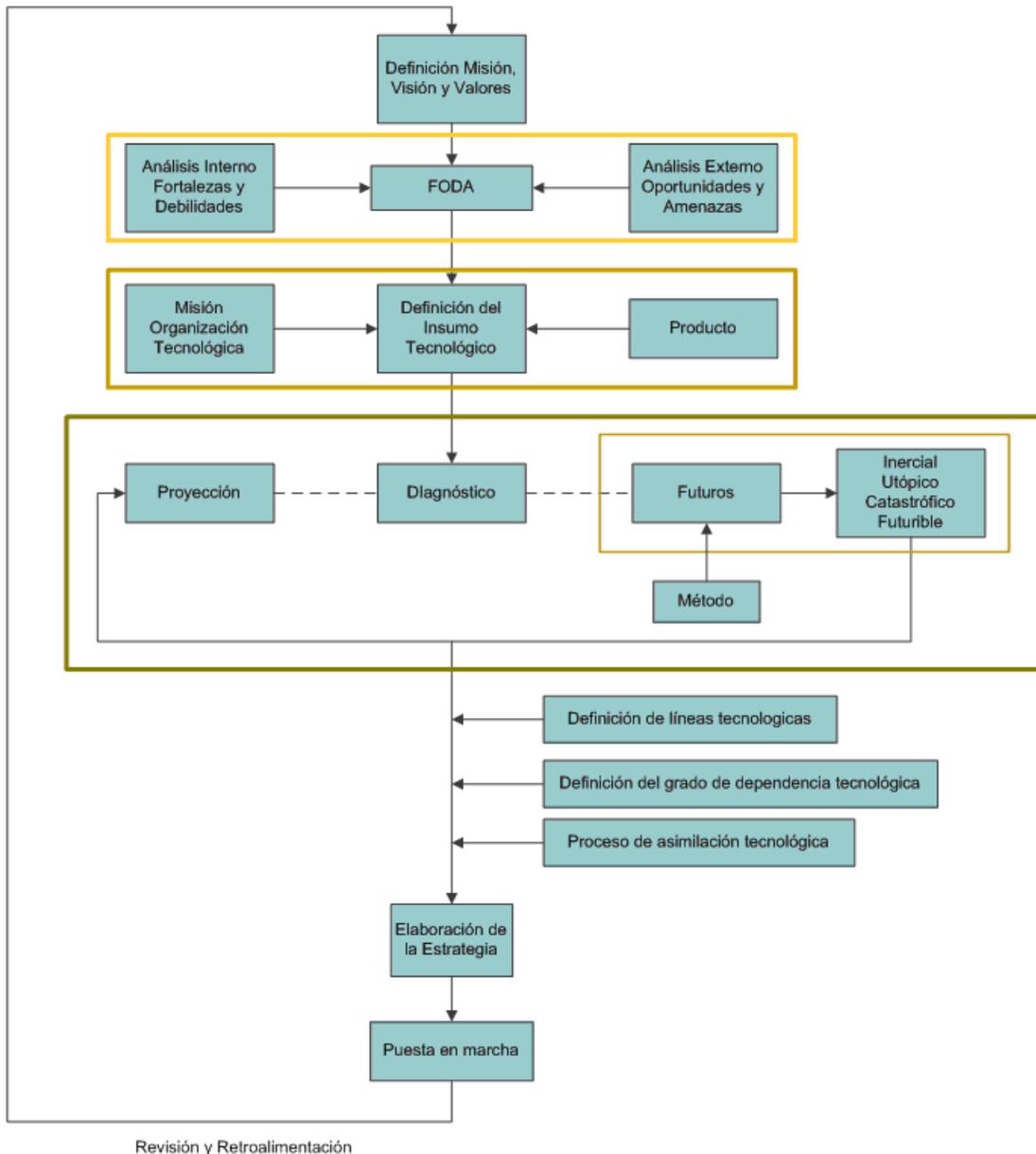
Tabla 19. Matriz Prospectiva y Estratégica.

FUENTE: Mikios, Tomás, Arroyo Margarita. Prospectiva y Escenarios para el Cambio Social. Serie Working Papers, FCPS-UNAM, México 2008.

4.5 Resultados.

Con base en los conceptos vertidos, resulta posible establecer un procedimiento general para desarrollar una prospectiva estratégica. Deberá tenerse en cuenta que este procedimiento no es exhaustivo y puede modificarse según lo requiera la organización. De la misma forma, cada elemento del procedimiento puede conformarse de varias formas. No obstante, sí es una guía general que permite a los profesionales tener una incursión al campo de la prospectiva estratégica con una mayor probabilidad de éxito.

Figura 43. Proceso simplificado para una prospectiva estratégica.



FUENTE: Pinilla Morán, Víctor Damián. *Prospectiva. Un enfoque estratégico*. FI-UNAM. 2009.

5. Prospectiva del uso de la energía nuclear como fuente de energía alterna para generar electricidad para México.

A lo largo de este estudio se ha mencionado que la energía nuclear es una fuente importante de energía eléctrica en muchos países, que en algunos casos representa una pequeña proporción de la producción de energía eléctrica y en otros casos representa la amplia mayoría. Se hizo mención a su vez de las enormes ventajas y desventajas de este tipo de energía, las cuales dan un sentimiento de esperanza pero a su vez también de precaución para propiciar su penetración en la generación eléctrica nacional.

En el caso que nos atañe, no se ha dado a conocer en ningún medio de comunicación la intención formal por parte del gobierno actual de construir una nueva planta nuclear o de tener planes de hacerlo en el largo plazo, sólo se escucharon pequeños reclamos por parte de algunos senadores en los debates por la reforma energética y tibias insinuaciones por parte de la SENER, que por lo visto mantiene otras prioridades.

La generación eléctrica nacional se enfrenta al reto de conseguir cubrir la demanda prevista de energía en los próximos años a la vez que debe encontrar soluciones para los problemas del impacto ambiental producido por las emisiones de gases relacionados con el efecto invernadero. Esto hace necesario contemplar un escenario futuro donde las diferentes opciones tecnológicas existentes para generar electricidad sean evaluadas en función de sus posibilidades para garantizar el suministro esperado, su contribución a la diversificación de las fuentes de suministro y la disminución de la dependencia a los combustibles fósiles, su competitividad económica y sus efectos medioambientales, contribuyendo así al desarrollo de una estrategia energética global.

Es por esto que se debe desarrollar una prospectiva del uso de la energía nuclear en México de manera inmediata para satisfacer el inminente incremento en la demanda de energía, identificando que su uso debe de ser temporal debido a los riesgos que este tipo de energía representa y a las oportunidades que presenta la fusión, la industria del hidrógeno y las energías renovables.

Prospectiva estratégica

En este capítulo se realiza una prospectiva con un enfoque estratégico tomando como guía la teoría descrita en el capítulo anterior, esta prospectiva se realiza con el fin de desarrollar tecnológicamente los aspectos inherentes a la energía nuclear en nuestro país, en el horizonte de los próximos 5 a 30 años, identificando cuales serán las tecnologías, áreas científicas y sociales que deben de considerarse en el ámbito nacional con carácter prioritario.

Planeación estratégica

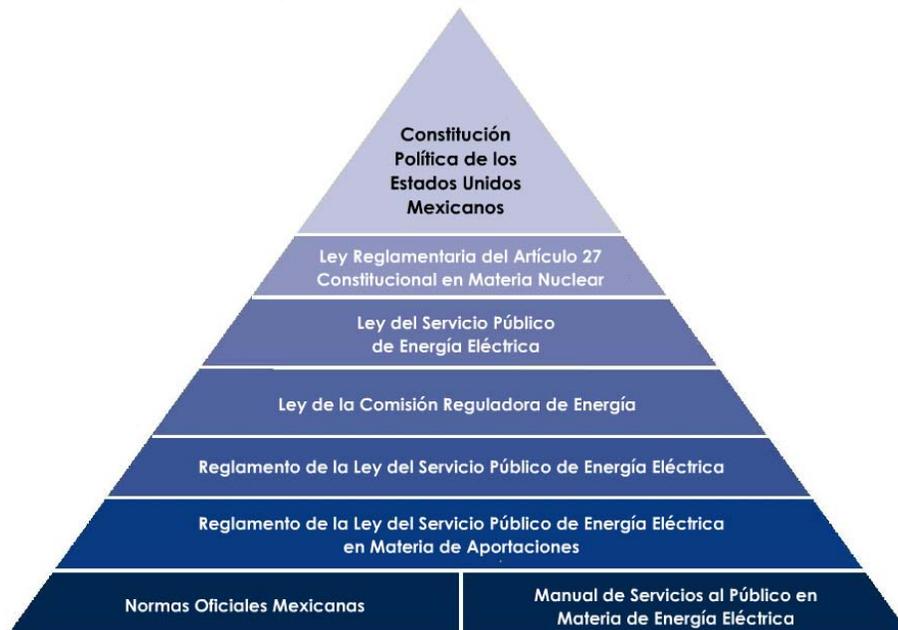
Resulta conveniente, adelantando los resultados del estudio que más adelante se desarrollará, establecer claramente el marco legal y organizacional que sustenta al Sector energético nacional.

Marco regulatorio del sector eléctrico

Estructura del marco regulatorio del sector eléctrico

Los ordenamientos jurídicos que rigen las actividades reguladas del sector eléctrico están supeditados a la Constitución, y la estructura con relación a éstos se ilustra a continuación.

Figura 44. Ordenamientos jurídicos que rigen las actividades del sector eléctrico.



FUENTE: Comisión Reguladora de Energía.

Adicionalmente a estos ordenamientos, el marco regulatorio cuenta con instrumentos de regulación que establecen los lineamientos y los mecanismos de interrelación entre los particulares y suministradores del servicio público.

Marco Constitucional

Las disposiciones constitucionales aplicables al sector eléctrico, se encuentran fundamentalmente consignadas en los artículos 25, 27 y 28 de nuestra Carta Magna.

De acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 25, en sus párrafos primero, segundo y cuarto, “corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución”.²¹²

“El Estado planeará, conducirá, coordinará y orientará la actividad económica nacional, y llevará al cabo la regulación y fomento de las actividades que demande el interés general en el marco de libertades que otorga esta Constitución...”²¹³

Asimismo, establece que el sector público tendrá a su cargo, de manera exclusiva, las áreas estratégicas que se señalan en el Artículo 28, párrafo cuarto de la Constitución, “...manteniendo siempre el Gobierno Federal la propiedad y el control sobre los organismos que en su caso se establezcan”.

Conforme a lo establecido en el artículo 27, corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.

El Artículo 28, párrafo cuarto, precisa que no constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las áreas estratégicas que se determinan en dicho artículo, entre las que se encuentra la electricidad.

Este precepto también establece que el Estado lleva a cabo estas actividades estratégicas, a través de organismos y empresas que requiera para su eficaz manejo.

212 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

213 Ídem.

Tratados Internacionales

Debe hacerse mención de los Tratados Internacionales sobre Energía Nuclear de los que México forma parte y que son Ley Mexicana según lo dispone el Artículo 133 Constitucional:

- Estatuto de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina, reconocido como el Tratado de Tlatelolco.
- Tratado de No Proliferación de las Armas Nucleares.
- Acuerdo entre los Estados Unidos Mexicanos y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de Salvaguardas en relación con el Tratado para la Proscripción de las armas Nucleares en la América Latina y el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares.

La Constitución Mexicana proclama que la energía nuclear solo será utilizada con fines pacíficos y esto es reiterado en el Acta de Actividades Nucleares de 1984.

México ratificó el tratado de No-Proliferación Nuclear en 1969 y el Protocolo Adicional en 2004. También es parte de la Convención para la Protección Física del Material Nuclear, ratificado en 1988. México es depositario del Tratado para la Prohibición de Armas Nucleares en América Latina (El Tratado de Tlatelolco) y ha sido parte del Tratado desde 1967.

Ley reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear

En materia nuclear el Artículo 27 Constitucional establece la exclusividad de la nación en el aprovechamiento de los combustibles nucleares para la generación de energía nuclear y la regulación de sus aplicaciones con otros propósitos y determina que la energía nuclear solo podrá utilizarse con fines pacíficos.

Al respecto, el marco jurídico en materia nuclear está definido por:

- *Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en materia nuclear*
- *Ley de Responsabilidad Civil por Daños Nucleares*

Respecto a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear proclamada por el Expresidente de la República Miguel de la Madrid H., el 4 de febrero de 1985, y reformada el día 23 de enero de 1998, da cuenta de cincuenta y dos artículos a lo largo de seis capítulos, cuyos temas centrales son la Exploración, Explotación y Beneficios de Minerales Radiactivos, La Industria Nuclear, La Seguridad Nuclear, Radiológica y Física, y las Salvaguardias, El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

Cuadro 6. Extracto de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear.²¹⁴

“Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear”

CAPÍTULO I Disposiciones Generales

ARTÍCULO 1º.- La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear y regula la exploración, la explotación y el beneficio de minerales radiactivos, así como el aprovechamiento de los combustibles nucleares, los usos de la energía nuclear, la investigación de la ciencia y técnicas nucleares, la industria nuclear y todo lo relacionado con la misma.

Las disposiciones de esta Ley son de orden público y de observancia en toda la República.

ARTÍCULO 2º.- El uso de la energía nuclear sólo podrá tener fines pacíficos en cumplimiento de lo establecido en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

El Ejecutivo Federal dictará las disposiciones reglamentarias a que se sujetará el uso tanto energético como no energético de los materiales radiactivos...”

Es en el acta de 1984 de Actividades Nucleares donde se declara que el gobierno mexicano, a través de la Secretaría de Energía, es responsable por el establecimiento de la infraestructura para el uso y desarrollo de la energía nuclear y la tecnología nuclear.

Ordenamientos legales

Por su parte, los principales ordenamientos legales²¹⁵ que regulan la prestación del servicio público de energía eléctrica son:

- *Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica*, que es el ordenamiento principal de esta materia, la cual regula propiamente la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como la organización y funcionamiento de la CFE, constituyéndose en su ley orgánica
- *Ley Orgánica de la Administración Pública Federal*, por cuanto se refiere a la asignación de facultades de las secretarías de Estado particularmente a la Secretaría de Energía y el reconocimiento y ubicación estructural de las entidades paraestatales.
- *Ley de la Comisión Reguladora de Energía*, que regula las actividades y organización de dicha comisión así como sus facultades.

214 Ibídem 184.

215 Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017, SENER 2008, México. Pág. 51.

- La *Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica* (LSPEE), publicada en 1975 y reformada por última vez en 1993, establece las disposiciones que regulan la generación, conducción, transformación, distribución y abastecimiento de energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público.

*Normas Oficiales Mexicanas en materia Nuclear*²¹⁶

- **NOM-001-NUCL-1994.** Factores para el cálculo del equivalente de dosis
- **NOM-002-NUCL-2004.** Pruebas de fuga y hermeticidad de fuentes selladas
- **NOM-003-NUCL-1994.** Clasificación de instalaciones o laboratorios que utilizan fuentes abiertas.
- **NOM-004-NUCL-1994.** Clasificación de los desechos radiactivos
- **NOM-005-NUCL-1994.** Límites anuales de incorporación (LAI) y concentraciones derivadas en aire (CDA) de radionúclidos para el personal ocupacionalmente expuesto.
- **NOM-006-NUCL-1994.** Criterios para la aplicación de los límites anuales de incorporación para grupos críticos del público.
- **NOM-008-NUCL-2003.** Control de la contaminación radiactiva.
- **NOM-012-NUCL-2002.** Requerimientos y calibración de monitores de radiación ionizantes. (Aclaración a la NOM-012-NUCL-2002, publicada en el D. O. F. del 15 de agosto de 2002).
- **NOM-018-NUCL-1995.** Métodos para determinar la concentración de actividad y actividad total en los bultos de desechos radiactivos.
- **NOM-019-NUCL-1995.** Requerimientos para bultos de desechos radiactivos de nivel bajo para su almacenamiento definitivo cerca de la superficie.
- **NOM-020-NUCL-1995.** Requerimientos para instalaciones de incineración de desechos radiactivos.
- **NOM-021-NUCL-1996.** Requerimiento para las pruebas de lixiviación para especímenes de desechos radiactivos solidificados.
- **NOM-022/1-NUCL-1996.** Requerimientos para una instalación para el almacenamiento definitivo de desechos radiactivos de nivel bajo cerca de la superficie Parte 1. Sitio.

²¹⁶ SENER. Seguridad Nuclear. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=23>. Consultada el 3 de Mayo del 2009.

Órgano Regulador

En lo concerniente al sector eléctrico, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) es el órgano regulador y tiene por objeto promover el desarrollo eficiente de las siguientes actividades:

- Suministro y venta de energía eléctrica a los usuarios del servicio público.
- Generación, exportación e importación de energía eléctrica que realicen los particulares.
- Adquisición de energía eléctrica que se destine al servicio público.
- Servicios de conducción, transformación y entrega de energía entre entidades que tienen a su cargo el servicio público, y entre éstas y los particulares.

Cuerpo regulador nuclear

La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) es un organismo que se encuentra bajo la autoridad de la Secretaría de Energía que toma el rol de regulador. La CNSNS es responsable por asegurar la aplicación apropiada de regulaciones y salvaguardas para la seguridad nuclear y radioactiva y por la protección física de instalaciones nucleares y radiológicas para asegurar así la seguridad pública.

Cuadro 7. Misión Visión y Objetivos de la CNSNS.

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS)

Misión. Asegurar que las actividades en donde se involucren materiales nucleares, radiactivos y fuentes de radiación ionizante, se lleven al cabo exclusivamente con fines pacíficos y con la máxima seguridad para la población y el ambiente, considerando los desarrollos tecnológicos actuales.

Visión. Ser un órgano regulador con cabal autonomía en las decisiones técnicas, y de excelencia reconocida en el ámbito nacional e internacional, con base a la capacidad técnica y moral de su personal.

Objetivos

- Garantizar y mejorar el nivel de seguridad de las instalaciones nucleares y radiactivas.
- Mantener y mejorar la capacidad técnica de los recursos humanos y materiales de la CNSNS, para enfrentar los problemas presentes y futuros de seguridad.
- Asegurar que las decisiones técnicas de la CNSNS cuenten con la independencia y los atributos de calidad para garantizar la seguridad.
- Establecer una estructura organizacional y salarial flexible y moderna, con una gestión de recursos que permita regular la seguridad en el país, acorde con el desarrollo de la industria nuclear.
- Desarrollar la normativa nacional requerida por la evolución tecnológica de la industria nuclear.

FUENTE: CNSNS, Misión Y Visión. http://www.cnsns.gob.mx/acerca_de/mision.aspx. Consultada el 1 de Septiembre del 2009.

La CNSNS es también responsable por la revisión, evaluación y aprobación del criterio para diseñar, construir, operar y desmantelar instalaciones nucleares, proporcionando las regulaciones relevantes. Tiene el poder de conceder o suspender licencias para instalaciones nucleares, las cuales son avaladas por la CNSNS a través de la Secretaría de Energía.

La CNSNS se encuentra vinculada con la OIEA en lo referente a la seguridad nuclear y salvaguardas, se encuentra respaldada en las actividades de asesoría y servicios de evaluación que el Organismo lleva a cabo para ayudar a los Estados Miembros a identificar sus necesidades en materia de seguridad física, de asesoría técnica, de asistencia legal y de capacitación para la protección física de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos, incluyendo instalaciones nucleares.

Estructura organizacional de la Secretaría de Energía y de la Comisión Federal de Electricidad

Secretaría de Energía. (SENER)

Las principales atribuciones de la SENER²¹⁷ en materia eléctrica (para la prestación del servicio público), son las siguientes:

- Autorizar los programas y aprobar las especificaciones de obras e instalaciones para generación, conducción y transformación de energía eléctrica.
- Determinar las necesidades de crecimiento o de sustitución de capacidad de generación.
- Determinar si las nuevas instalaciones serán ejecutadas por las entidades paraestatales o por particulares.
- Autorizar los programas y aprobar las especificaciones sobre obras e instalaciones necesarias en materia de distribución y abastecimiento de energía eléctrica.
- Participar en el ajuste, modificación o reestructura de las tarifas eléctricas que fija la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).
- Aprobar los lineamientos del presupuesto de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Aprobar las bases de licitación de nuevos proyectos de generación.

217 Acevedo, José Alberto. Estrategias para la Diversificación de Fuentes de Energía para Generación de Electricidad. SENER. 2005.

Cuadro 8. Misión Visión y Objetivos de la SENER.

Secretaría de Energía (SENER)

Misión. Conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional.

Visión. Una población con acceso pleno a los insumos energéticos, a precios competitivos; con empresas públicas y privadas de calidad mundial, operando dentro de un marco legal y regulatorio adecuado.

Con un firme impulso al uso eficiente de la energía y a la investigación y desarrollo tecnológicos; con amplia promoción del uso de fuentes alternativas de energía; y con seguridad de abasto.

Objetivos

CONTROL Y EVALUACIÓN:

- Impulsar en la Secretaría la mejora continua de sus procesos administrativos y servicios públicos a través de la detección de áreas de oportunidad.
- Prevenir prácticas de corrupción e impunidad a través de la difusión de normas, el establecimiento de controles internos y de asesoría.

AUDITORÍA:

1. Detectar la corrupción a través de auditorías enfocadas a áreas sustantivas y proyectos relevantes.
2. Obtener en las auditorías resultados validos, significativos y debidamente fundamentados.

RESPONSABILIDADES:

1. Sustentar jurídicamente las presuntas responsabilidades.
2. Sancionar las conductas indebidas de los servidores públicos.
3. Promover el resarcimiento al estado, por los daños y perjuicios ocasionados.

FUENTE: SENER, Misión Y Visión. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=62>. Consultada el 3 de Septiembre del 2009.

Comisión Federal de Electricidad. (CFE)

Las principales atribuciones de la CFE (para la prestación del servicio público), son las siguientes:

- Generar electricidad
- Transmitirla
- Distribuirla
- Comercializarla

Cuadro 9. Misión Visión y Objetivos de la CFE.

Comisión Federal de Electricidad (CFE)

Misión. Asegurar, dentro de un marco de competencia y actualizado tecnológicamente, el servicio de energía eléctrica, en condiciones de cantidad, calidad y precio, con la adecuada diversificación de fuentes de energía.

Optimizar la utilización de su infraestructura física, comercial y de recursos humanos.

Proporcionar una atención de excelencia a nuestros clientes.

Proteger el medio ambiente, promover el desarrollo social y respetar los valores de las poblaciones donde se ubican las obras de electrificación.

Visión. Que la sociedad tenga plena confianza y credibilidad en la Comisión Federal de Electricidad, a través de una gestión eficaz, eficiente, honesta y transparente.

Objetivos

- Mantenernos como la empresa de energía eléctrica más importante a nivel nacional.
 - Operar sobre las bases de indicadores internacionales en materia de productividad, competitividad y tecnología.
 - Ser reconocida por nuestros usuarios como una empresa de excelencia que se preocupa por el medio ambiente, y está orientada al servicio al cliente.
 - Elevar la productividad y optimizar los recursos para reducir los costos y aumentar la eficiencia de la empresa, así como promover la alta calificación y el desarrollo profesional de los trabajadores.
-

FUENTE: CFE, Misión, Visión y Objetivos. <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/misionyobjetivos/>. Consultada el 3 de Septiembre del 2009.

Modelo de los tres vectores detallado en el momento actual para las organizaciones responsables de la generación de energía nuclear

Vector Misión

En este momento la SENER tiene la misión de conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional.

En tanto que la misión de la CFE es la de asegurar, dentro de un marco de competencia y actualizado tecnológicamente, el servicio de energía eléctrica, en condiciones de cantidad, calidad y precio, con la adecuada diversificación de fuentes de energía, así como el optimizar la utilización de su infraestructura física, comercial y de recursos humanos y proteger el medio ambiente, promover el desarrollo social y respetar los valores de las poblaciones donde se ubican las obras de electrificación.

Vector Estructura Organizacional

Figura 45. Diagrama organizacional del Sector Eléctrico Mexicano.



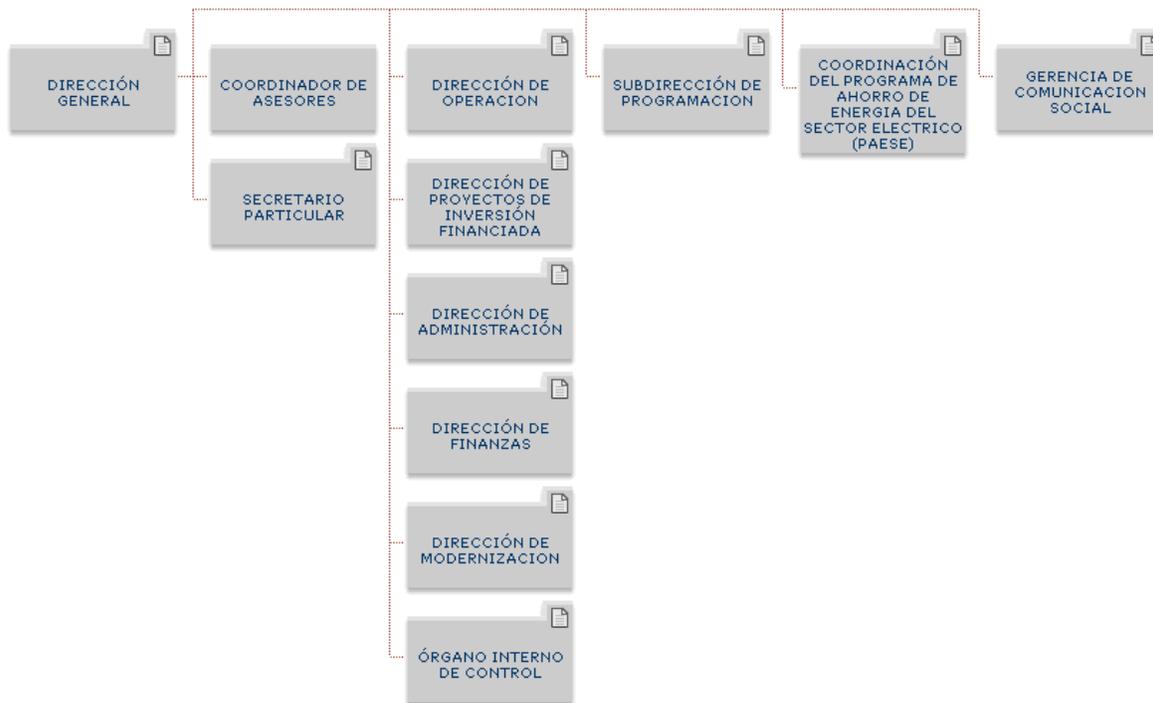
FUENTE: Reyes García, Fernando Enrique. Definir una estrategia de uso de la energía eólica para generar electricidad en México. FI-UNAM. 2007.

Figura 46. Estructura organizacional SENER.



FUENTE: Portal de obligaciones de Transparencia. IFAI. <http://portaltransparencia.gob.mx>. Consultado el 30 de Septiembre de 2009.

Figura 47 Estructura organizacional CFE.



FUENTE: CFE. Organigrama. <http://www.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/organigrama>. Consultado el 30 de Septiembre de 2009.

Como puede observarse la CFE se divide a nivel dirección en once secciones básicamente: operación, proyectos de inversión financiada, administración, finanzas, modernización y un órgano interno de control, es importante hacer notar la incorporación del programa para el ahorro de energía y de la gerencia de comunicación social, entidades ausentes en el esquema anterior.

En cuanto a la departamentalización de la organización, cada sección o dirección de la CFE, cuenta con subdirecciones (departamentos) relacionadas con cada aspecto perteneciente al área de especialización de cada dirección. Ambas organizaciones gubernamentales proclaman el contar con personal capacitado y con un adecuado grado de especialización en el área donde labora cada trabajador.

La CFE depende de la SENER, cualquier decisión importante sobre proyectos es tomada en conjunto, pero finalmente quien toma la decisión final es la SENER. Esto se debe a las atribuciones que esta última posee como son el autorizar los programas y aprobar las especificaciones sobre obras e instalaciones necesarias en materia de distribución y abastecimiento de energía eléctrica; a su vez esta entidad aprueba los lineamientos de los presupuestos de la CFE y aprueba las bases de licitación de los nuevos proyectos de generación.

Vector Tecnología

Tecnología de proceso

Se cuenta con el conocimiento básico adquirido a través de los años de experiencia en el uso de la planta nuclear Laguna Verde y a la labor de las diferentes organizaciones educativas en materia nuclear en el país.

Actualmente la generación bruta de electricidad, proviene en su mayoría de plantas de ciclo combinado, seguidas de cerca por las plantas termoeléctricas convencionales y plantas carboeléctricas, esto se debe a la política gubernamental de los últimos años que se ha enfocado en la repotenciación de plantas termoeléctricas antiguas, a modo ciclo combinado. La energía nuclear actualmente es el antepenúltimo proveedor de electricidad en nuestro país solo superando a las plantas geotérmicas y eólicas.

Tecnología de operación

Se cuenta con una plantilla de personal con experiencia de varios años en la operación de la planta nuclear Laguna Verde, así como de personal sin experiencia práctica que es capacitado en los simuladores propiedad de CFE.

Tecnología de equipo

En cuanto a la generación nuclear se cuenta con equipo relativamente antiguo, que se ha ido actualizando paulatinamente debido a las necesidades que se van presentando a medida que se continúa utilizando este tipo de tecnología. El único esbozo de planeación nuclear ha sido el contrato que firmó la CFE para repotenciar la planta de energía nuclear Laguna Verde.

En general el equipo utilizado en la generación eléctrica nacional es antiguo e inadecuado, en algunos casos se utilizan aparatos antiguos para realizar tareas que en la actualidad se llevan a cabo de manera electrónica y a distancia.²¹⁸

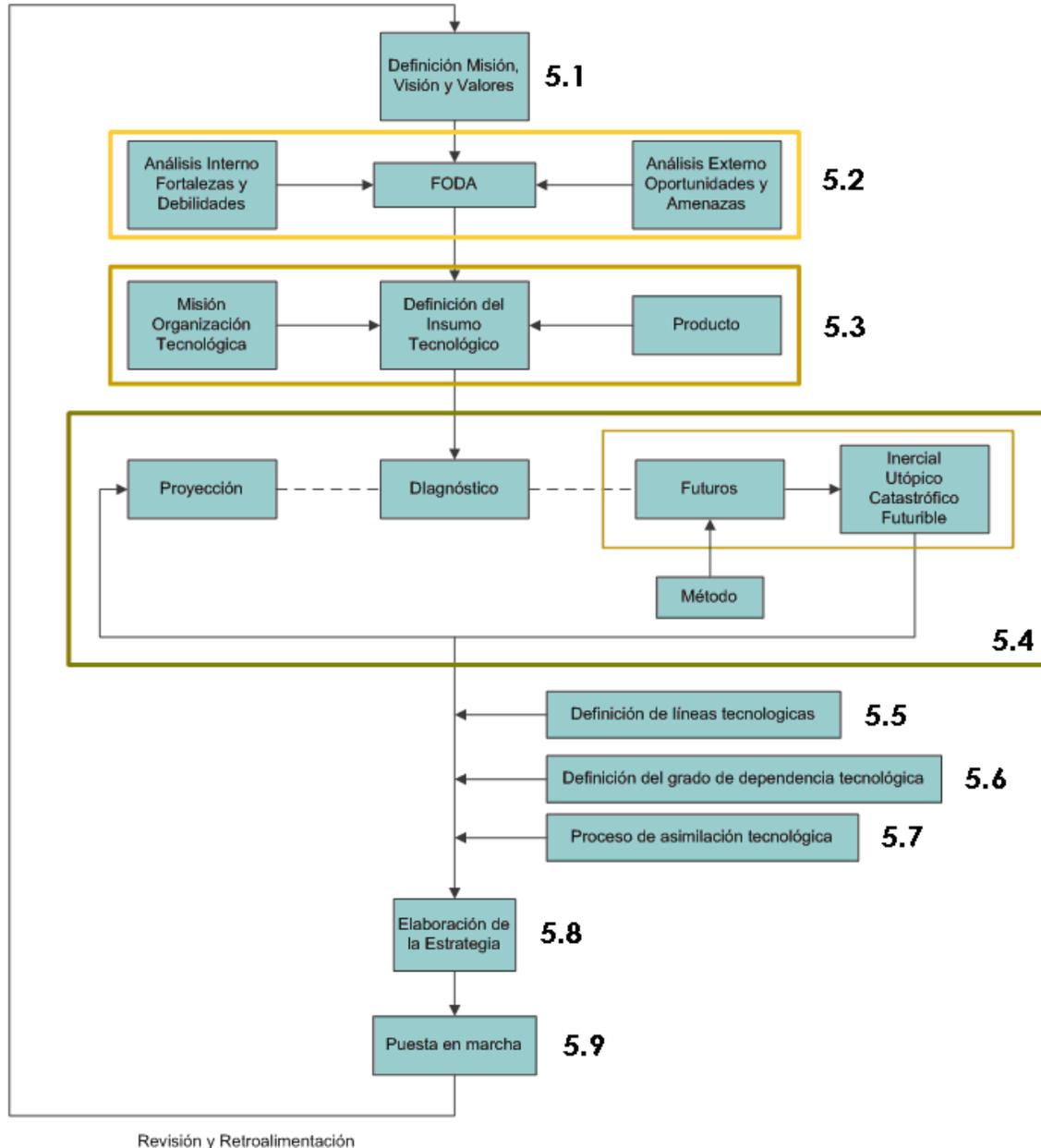
Por último la electricidad producida por CFE asegura el servicio eléctrico en cantidad y precio; aunque no asegura del todo ser amigable con el medio ambiente y promover el desarrollo social. Por otro lado, la calidad de la electricidad no es de excelencia, ya que existen demasiadas interrupciones y no todas las comunidades cuentan con la misma calidad en el servicio y en algunas ocasiones carecen de él; además, la sustentabilidad de este servicio depende de la diversificación en las fuentes de energía, lo cual aún no se logra, debido a la excesiva dependencia a los combustibles fósiles.

218 Reyes García, Fernando Enrique. Definir una estrategia de uso de la energía eólica para generar electricidad en México. FI-UNAM. 2007.

Prospectiva Estratégica

De acuerdo al modelo de los tres vectores ya definido (figura 39), así como al de la conformación de la estrategia, se procederá a cumplir con el objetivo del trabajo. Usando como referencia la figura 43, se presenta la siguiente figura en la cual se marcan los diferentes estados del proceso prospectivo, relacionados con la numeración correspondiente en este capítulo.

Figura 48. Proceso simplificado para una prospectiva estratégica con referencias.

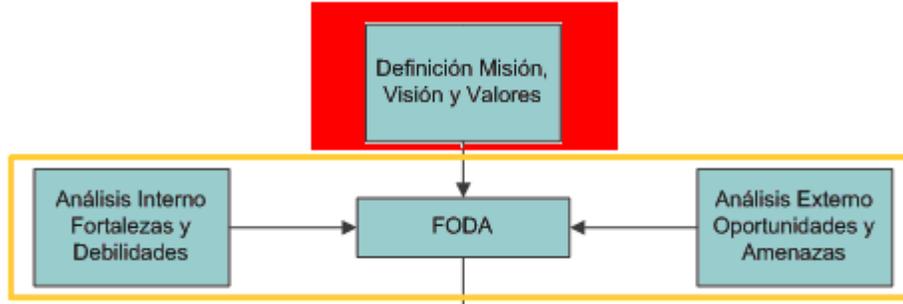


FUENTE: Pinilla Morán, Víctor Damián. *Prospectiva. Un enfoque estratégico*. FI-UNAM. 2009.

5.1 Misión, Visión y Objetivos.

Una vez definidas a grandes rasgos las características actuales de las organizaciones responsables de la generación de electricidad en México, es pertinente como primer paso en el proceso prospectivo el asumir una misión y una visión, así como el definir los valores que regirán el universo de decisiones a tomar en el desarrollo de la prospectiva propuesta.

Figura 49. Etapa actual del proceso: Definición de la Misión, Visión y Valores.



5.1.1 Misión.

Propiciar el uso de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica, mediante un programa que establezca todas las consideraciones necesarias para su reintroducción, estableciendo políticas públicas para su potenciación en la matriz energética nacional.

5.1.2 Visión.

Que los mexicanos de esta generación y principalmente, los mexicanos de las próximas generaciones, puedan beneficiarse de los avances tecnológicos fruto de la penetración de la energía nuclear y puedan aprovechar en su totalidad las fuentes de energía renovables, con el fin de mitigar los efectos del cambio climático y contribuir al desarrollo económico y social del país, bajo criterios de sustentabilidad.

5.1.3 Valores.

- Honestidad: Se trabaja con honradez, dignidad, equidad, solidaridad y modestia.
- Profesionalismo: Se busca el mejoramiento continuo en calidad, actualización y desarrollo.
- Respeto: Por el medio ambiente, las instituciones y los procesos.

- Responsabilidad: Actitud de compromiso con las labores encomendadas, visualizando las mismas como parte de un engranaje mayor y como elementos claves para el éxito total del programa.

Además de la conformación de una misión, visión y valores, es necesario conocer todos los elementos que conforman el ambiente en el cual se desarrolla la CFE, Esta información se conoce a partir del desarrollo en un estudio FODA detallado a continuación.

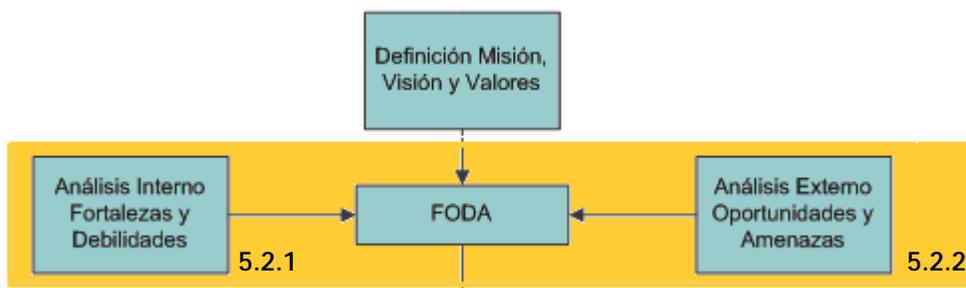
5.2 Análisis FODA.

Cuando las organizaciones realizan los procesos estratégicos ponen a disposición de los analistas tecnológicos toda la información pertinente y permiten la realización de ejercicios de planeación para detección de problemas que a su vez permitan la conformación de una matriz FODA.

En estos ejercicios debe haber participación activa y honesta de miembros de cada uno de los estratos de la organización (incluso externos a ella) que posean experiencia en su ámbito. Cada uno de estos participantes, expresan en forma clara y no ambigua las que consideran son fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades. A partir de esta información es factible a través de un diagrama clasificar y priorizar las respuestas logrando así los elementos necesarios para construir la matriz FODA.

En este caso, por la naturaleza del trabajo, y habiendo hecho las consultas necesarias, no resultó posible conjuntar un equipo con elementos de todos los sectores de la SENER y CFE, mucho menos con funcionarios de alto nivel. No obstante, la forma de subsanar esta situación fue que, a partir de la investigación documental que sustenta este trabajo, se realizó una clasificación y priorización de fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades que son citadas en la literatura consultada, procurando en todo momento balancear diferentes puntos de vista y tendencias de pensamiento.

Figura 50. Etapa actual del proceso: Análisis FODA.



5.2.1 Análisis interno (Fortalezas y Debilidades).

Los aspectos internos de la organización se obtienen al hacer un análisis del modelo de los tres vectores descrito en el capítulo cuatro; haciendo un análisis de sus fortalezas y debilidades, de este análisis se desprende el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Análisis interno CFE.

Fortalezas		Debilidades	
1	Es la única empresa encargada de generar electricidad en México.	1	Malas prácticas y corrupción
2	Posee una extensa infraestructura de generación, transmisión y distribución.	2	Severo envejecimiento de su infraestructura
3	Conoce el mercado donde se encuentra inmersa, en cuanto a características y funcionalidad.	3	Adolece de grandes pérdidas de energía, ya sea por robo o por el mismo deterioro de su infraestructura.
4	Cuenta con los recursos humanos necesarios para manejar los aspectos técnicos relacionados con la generación de energía eléctrica y algunos aspectos de la nuclear.	4	Ha tenido un escaso desarrollo tecnológico propio.
5	Tiene acceso a apoyos tecnológicos internacionales.	5	Desarrollo de una dependencia tecnológica extranjera.
6	Posee la posibilidad de intercambio de tecnología a nivel mundial con otras empresas por su participación en organismos nucleares internacionales.	6	Escasa vinculación escuela-industria.
		7	Extrema dependencia a los combustibles fósiles.

5.2.2 Análisis externo (Oportunidades y Amenazas).

Los elementos externos se obtienen al realizar un análisis del ambiente en el cual se desenvuelve la organización:

Legal

La CFE se encuentra supeditada a la SENER y a la legislación actual en materia nuclear, de la cual dentro de un panorama general puede decirse que contiene algunos avances como son, en primer término, el haber dividido la atención de asuntos nucleares en tres ramas. Aunque es susceptible de superación.

Científico

En este tema la CFE cuenta con el apoyo del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y los Institutos de educación Superior (IES), para realizar los avances en investigación y desarrollo en el área de la ciencia y tecnología nucleares y proporcionar servicios especializados y productos a la industria en general y a la rama médica en particular.

Económico

La CFE es una empresa paraestatal, lo cual implica que ésta depende de un presupuesto otorgado por el gobierno mexicano, así como de la recaudación de tarifas eléctricas. En materia de inversión, la legislación mexicana permite que el esfuerzo de inversión en proyectos energéticos sea compartido por los sectores público y privado. El sector privado puede participar en la construcción de plantas generadoras de electricidad bajo los esquemas de co-generación y el de los productores independientes de energía.

Existen dos maneras de financiamiento: a) financiamiento con base en los activos totales de cierta empresa (por ejemplo, la CFE), y b) financiamiento en base a un proyecto específico donde el financiamiento se estructura en base a los montos y la calidad de los flujos de efectivo asociados directamente con dicho proyecto. A esta última manera de financiar la inversión se le conoce como financiamiento de proyectos.²¹⁹

Social

La SENER en su carácter de cabeza del sector, está obligada a proveer de información veraz al público, acerca de los principios subyacentes detrás de la energía nuclear, lo cual no ha sucedido hasta ahora, la única información al alcance de la persona común son folletos informativos de Laguna Verde y algunos trípticos que intentan explicar al lector los peligros de la radiación, los cuales son editados por la CFE, lo cual refleja la poca atención que se le da a este tema en nuestro país.

Político

En el ámbito nacional, existe escaso apoyo por parte del gobierno para el desarrollo de la energía nuclear, debido a la mala reputación que ésta posee públicamente, esto desalienta a la CFE y a otros personajes políticos, para proponer nuevos proyectos de centrales nucleares.

Tecnológico

La CFE cuenta con personal capacitado para la operación de Laguna Verde (LV), a este respecto la CFE no cuenta con un plan de reemplazo del personal que se jubila y deja escapar de esta manera toda la experiencia en la operación de la central. En lo que respecta al instrumental la CFE posee dos reactores nucleares. En el año 2007, México obtuvo cerca de 10,421 GWh de la energía nuclear, cerca del 4.3% de los 243,522 GWh de electricidad usados en ese año.²²⁰

219 CFE. Financiamiento. <http://www.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/financiamiento>. Consultado el 30 de Septiembre de 2009.

220 *Ibidem* 187.

Tabla 20. Reactores que operan en México.

Reactores	Modelo	Potencia MW _e	Entró en operación
Laguna Verde 1	BWR	654	1990
Laguna Verde 2	BWR	654	1995
Total		1308	

FUENTE: IAEA 2003, *Country Nuclear Power Profiles*,

En febrero del 2007 la CFE firmó contratos con dos compañías españolas para la repotenciación y el acoplamiento de nuevas turbinas y generadores a la planta LV.

Cultural

La CFE se encuentra ante un gran reto en este aspecto, hay un gran nivel de desconfianza en el público en cuanto al tema nuclear, sobre todo por la desinformación que se ha generado en cuanto a los grandes accidentes acontecidos a lo largo de la historia de la generación de energía nuclear alrededor del mundo, tanto como en el manejo de los desperdicios radioactivos de bajo nivel producidos por la industria médica, ésta se traduce en un escaso apoyo por parte del gobierno, lo cual frena el desarrollo de este tipo de tecnología.

Cuadro 11. Análisis externo CFE.

Oportunidades		Amenazas	
1	A tiempo para desarrollar una mejor infraestructura legal, así como un mejor cuerpo regulador.	1	Incremento en la demanda de energía eléctrica.
2	Desarrollar una eficaz y fuerte vinculación escuela-industria.	2	Inminente agotamiento de reservas petroleras.
3	Reactivación económica o en su caso creación de un amplio rango de ámbitos relacionados con la energía nuclear.	3	Estancamiento económico debido a la falta de energía.
4	Percibir a la tecnología nuclear como una oportunidad de desarrollo tecnológico propio.	4	Entorno político incierto.
5	Considerar a la energía nuclear como una opción para luchar contra el cambio climático.	5	Cambio climático.
6	Mejorar y fortalecer las capacidades tecnológicas y formativas necesarias para la potenciación de la energía nuclear	7	Envejecimiento del recurso humano especializado en la teoría y en la práctica de la energía nuclear.
8	Aceptación pública de las tecnologías y sistemas utilizados en el aprovechamiento de la energía nuclear.	9	Brotos violentos de inconformidad social.

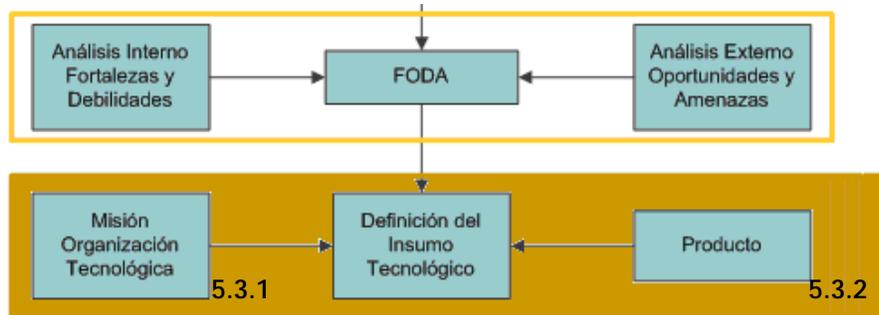
Cuadro 12. Matriz FODA.

	Oportunidades	Amenazas
<p>Fortalezas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Es la única empresa encargada de generar electricidad en México. 2 Posee una extensa infraestructura de generación, transmisión y distribución. 3 Conoce el mercado donde se encuentra inmersa, en cuanto a características y funcionalidad. 4 Cuenta con los recursos humanos necesarios para manejar los aspectos técnicos relacionados con la generación de energía eléctrica y algunos aspectos de la nuclear. 5 Tiene acceso a apoyos tecnológicos internacionales. 6 Posee la posibilidad de intercambio de tecnología a nivel mundial con otras empresas por su participación en organismos nucleares internacionales. 	<ol style="list-style-type: none"> 1 A tiempo para desarrollar una mejor infraestructura legal, así como un mejor cuerpo regulador. 2 Desarrollo eficaz de una fuerte vinculación escuela-industria. 3 Reactivación económica o en su caso creación de un amplio rango de ámbitos relacionados con la energía nuclear. 4 Percibir a la tecnología nuclear como una oportunidad de desarrollo tecnológico propio. 5 Considerar a la energía nuclear como una opción para luchar contra el cambio climático. 6 Mejorar y fortalecer las capacidades tecnológicas y formativas necesarias para la potenciación de la energía nuclear. 7 Aceptación pública de las tecnologías y sistemas utilizados en el aprovechamiento de la energía nuclear. 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Incremento en la demanda de energía eléctrica. 2 Inminente agotamiento de reservas petroleras. 3 Estancamiento económico debido a la falta de energía. 4 Entorno político incierto. 5 Cambio climático. 6 Envejecimiento del recurso humano especializado en la teoría y en la práctica de la energía nuclear. 7 Brotes violentos de inconformidad social.
<p>Debilidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Malas prácticas y corrupción. 2 Severo envejecimiento de su infraestructura física. 3 Adolece de grandes pérdidas de energía, ya sea por robo o por el mismo deterioro de su infraestructura. 4 Ha tenido un escaso desarrollo tecnológico propio. 5 Desarrollo de una dependencia tecnológica extranjera. 6 Escasa vinculación escuela-industria. 7 Extrema dependencia a los combustibles fósiles. 	<p>ESTRATEGIAS FO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de la aprobación pública y apoyo político para la utilización de la energía nuclear y las tecnologías y sistemas de almacenamiento de residuos nucleares. • Desarrollo y actualización de un amplio marco legal. • Mantenimiento del cuerpo regulador y desarrollo de un sistema de licenciamiento y verificación que supervise de acuerdo a los estándares de protección y seguridad de la OIEA. • Provisión de un adecuado respaldo tecnológico, transferencia de la tecnología y adquisición de recursos humanos competentes para la administración de todos los aspectos del programa nuclear. 	<p>ESTRATEGIAS DA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un programa que cumpla con todos los aspectos técnicos relacionados con el Programa de Reinstrucción de la Energía Nuclear (PREN). • Provisión de seguridad en el suministro de combustible. • Aplicación de instrumentos económicos y directivos para aumentar la competitividad económica de la energía nuclear.

5.3 Definición del insumo tecnológico.

Los elementos que forman parte del insumo tecnológico son dos, externos e internos, el insumo tecnológico no es otra cosa que el proceso estratégico que se lleva a cabo para obtener un producto, la definición de estos elementos nos clarifica las condiciones que se deben de lograr para obtener el producto.

Figura 51. Etapa actual del proceso: Definición del insumo tecnológico.



Debido a que los elementos externos de la organización ya fueron descritos en el análisis FODA, es necesario que se estudien entonces los elementos internos de la organización, esto se logra a partir del análisis de los tres vectores que se presenta a continuación:

5.3.1 Elementos internos (Paquete tecnológico).

Primer vector: Misión

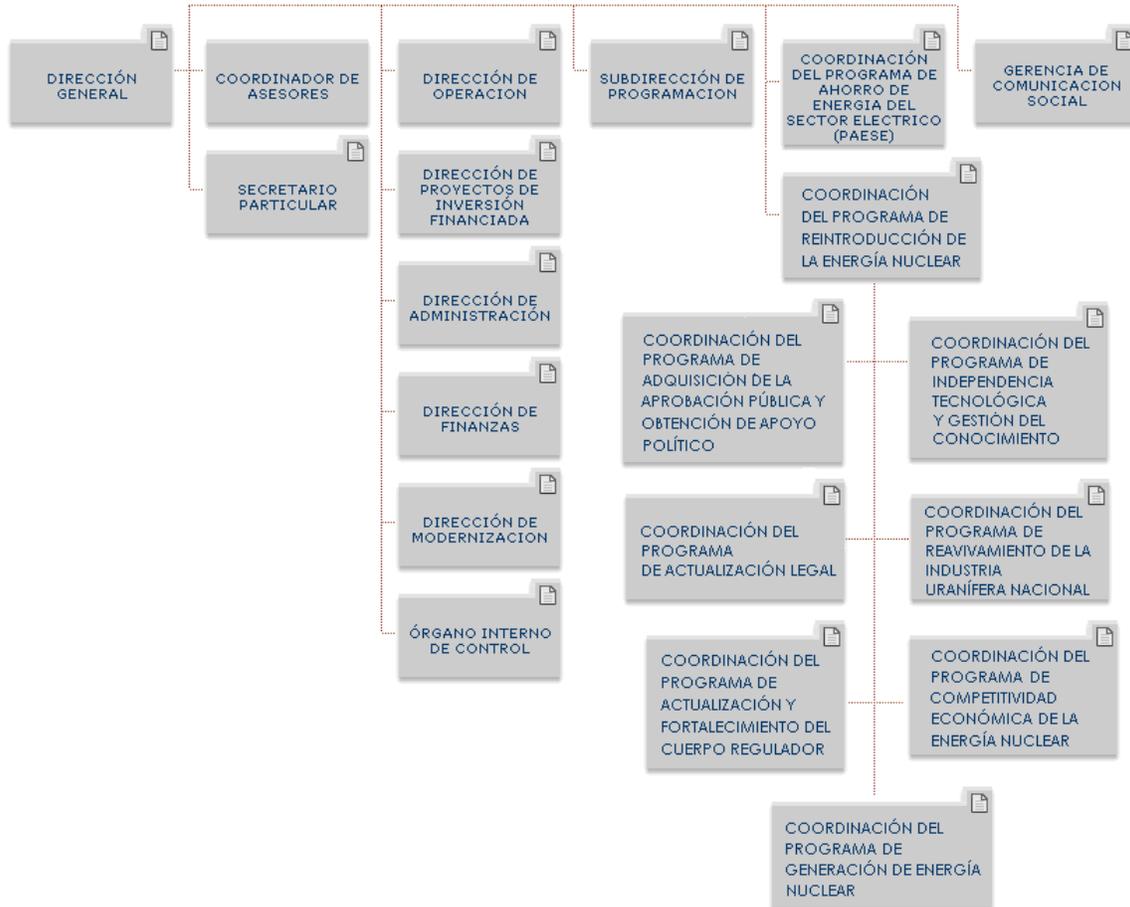
Propiciar el uso de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica, mediante un programa que establezca todas las consideraciones necesarias para su reintroducción, estableciendo políticas públicas para su potenciación en la matriz energética nacional.

Segundo vector: Estructura organizacional

La estructura organizacional del sector eléctrico mexicano se mantiene de la misma forma en que se ilustra en la figura 45, y solo se propone una nueva estructura organizacional para la CFE, esta nueva estructura se basará prácticamente en la ya existente, es por esto que para la realización del Programa de Reintroducción de la Energía Nuclear (PREN), se incluirán una serie de coordinaciones como la Coordinación del programa de adquisición de la aprobación pública y obtención de apoyo político, la Coordinación del programa de actualización legal, la Coordinación del programa de actualización y fortalecimiento del cuerpo regulador, la Coordinación del programa de independencia tecnológica y gestión del conocimiento, la Coordinación del

programa de reavivamiento de la industria uranífera nacional, la Coordinación del programa de competitividad económica de la energía nuclear y por último la Coordinación del programa de generación de energía nuclear. En la siguiente figura se muestra la nueva estructura organizacional propuesta para la CFE.

Figura 52. Nueva estructura organizacional propuesta para CFE.



Los principales actores del programa nuclear son:

- **Gobierno (SENER)** - El cual es responsable de la política energética manejada, y en nuestro caso, del financiamiento.
- **Mercado** - El cual se forma por los clientes que solicitan electricidad de calidad a un precio justo.
- **Generador (CFE)** - El cual es en última instancia el responsable del desarrollo del programa completo.
- **Contratistas IPC** - Son compañías de ingeniería, procuración y construcción que son responsables ante el dueño en este caso el estado por la entrega de acuerdo con el esquema de construcción y el presupuesto.
- **Vendedores** - los cuales son los responsables por el abastecimiento del equipo y la tecnología ya sea al dueño o a los contratistas IPC de acuerdo con el esquema de construcción y el presupuesto.

- **Autoridad en seguridad (CNSNS)** - la cual es responsable de la protección de la seguridad pública y del medio ambiente, desde la etapa del diseño hasta la operación de la planta y el manejo del combustible.

Tercer vector: Tipo de tecnología

Tecnología de proceso

Existe la necesidad de tener acceso al conocimiento y experiencias nacionales e internacionales para respaldar a la CFE y a la CNSNS en áreas científicas como las neutrónicas, físicas, termohidráulicas y en las áreas técnicas como la protección de la radiación, manejo del desperdicio radioactivo, calidad en la administración, mantenimiento y manejo de refacciones.

La asistencia para la CNSNS para desarrollar los recursos humanos capaces de regular y monitorear la seguridad de la planta y la elaboración de una organización nuclear reguladora efectiva, competente e independiente puede ser proporcionada por el cuerpo regulador en el país de origen del proveedor u otros cuerpos reguladores, y complementado por la OIEA y otras organizaciones internacionales. Para la CFE se deben desarrollar contratos de transferencia de tecnología entre el vendedor y la compañía, asimismo se debe participar de manera activa con los organismos operadores internacionales para la provisión del apoyo mencionado.

El desarrollo de un programa académico nacional para la convocatoria y educación de los científicos, ingenieros y técnicos para respaldar la investigación técnica deberá ser desarrollado como parte del compromiso del desarrollo de las capacidades nacionales requeridas.

Tecnología de operación

Se necesitará desarrollar al personal requerido ante la implementación de nuevos reactores nucleares, la cantidad de personal requerido varía dependiendo del tipo de tecnología elegida, según estudios del ININ²²¹ se deben considerar cuatro aspectos, el diseño o desarrollo, la construcción y la operación, así como el desmantelamiento; por ejemplo, para un reactor ACR durante la etapa de diseño y construcción se necesitarán entre 1500 y 2000 plazas durante 60 meses y durante su operación 600 durante 60 años.

Tabla 21. Personal requerido por tipo de tecnología.

Concepto	Diseño y Construcción		Operación	
	No. De Plazas	Duración	No. De Plazas	Duración
ABWR	1500 a 2000	54 meses	375	60 años
ACR	1500 a 2000	60 meses	600	60 años
AP1000	1500	60 meses	200	60 años
EPR	2000	60 meses	200	60 años

FUENTE: *Dominion Study 2005.*

221 Palacios Hernández, Javier C. Prospectiva de la Generación Nucleoeléctrica en México. ININ. 2007.

Si hablamos de las disciplinas técnicas que se requiere desarrollar se pueden clasificar por su función.

Cuadro 13. Disciplinas técnicas requeridas por función a desarrollar.

Disciplina Técnica	Función
Mecánica, Eléctrica, Ingeniería	-Operación directa.
Química, Física de Reactores	-Evaluación de ocurrencias anormales
Nucleares	-Revisión de desempeño -Física de reactores -Administración de combustible
Radiaciones ionizantes	-Física de la Salud
Química o Ingeniería Química	-Manejo de combustible -Almacenamiento de combustible gastado -Administración de efluentes y desechos -Química
Ingeniería Mecánica o Ingeniería Eléctrica (Ingeniería Civil)	-Todas las funciones de mantenimiento -Planeación y Programación -Administración de partes de repuesto -Control de documentos -Garantía de calidad -Control de incendios y Seguridad Industrial

FUENTE: *Dominion Study 2005.*

Si se desglosa el personal requerido en sitio se puede decir que del total mínimo requerido, un 25% se requiere en la operación directa, un 40% en ingeniería y mantenimiento un 20% en Física de la salud, Química, Administración de efluentes y desechos y un 15% en otras fuentes de apoyo.

Además de la educación en ciencias, ingeniería y técnica, normalmente el personal relevante necesita de tres o más años de entrenamiento especializado y experiencia previa a la primera carga de combustible al reactor.

Tecnología de equipo

Muchos de los reactores disponibles actualmente para la compra y construcción son reactores enfriados por agua, para los cuales existe una significativa experiencia de operación alrededor del mundo. Estos son principalmente reactores presurizados de agua ligera (PWRs), reactores de agua hirviendo (BWRs), y reactores de agua pesada (HWRs). Se encuentran generalmente disponibles en capacidades de 1000 MW o de mayor potencia de salida. Reactores un poco más pequeños de 600-700 MW de salida se encuentran disponibles utilizando la tecnología de reactor en agua.

Para el PREN, se consideran reactores de tercera generación (GEN III+) de los cuales se considera se tiene considerable experiencia en operación, además de poseer ciertos rangos equiparables en cuanto a tiempo de construcción, desarrollo, y certificación del diseño, según estudios del ININ²²² se sugieren los siguientes reactores:

²²² *Ibíd*em 193.

1. Reactor ABWR de la compañía General Electric
Potencia eléctrica neta de 1356 MW_e.
2. Reactor AP1000 de la compañía Westinghouse
Potencia eléctrica neta de 1000 MW_e.
3. Reactor EPR de la compañía AREVA
Potencia eléctrica neta de 1600 MW_e.
4. Reactor ACR de la compañía AECL
Potencia eléctrica neta de 1000 MW_e.

En el escenario utópico considerado en el PREN, éste debe ser capaz de suministrar a la matriz energética nacional el 35% de la capacidad de generación, hacia el año 2040. Por consideraciones que se explicarán más adelante se elige el reactor ACR de la compañía AECL, lo cual implicaría la construcción de un número bastante elevado de reactores en un muy corto tiempo. Para lograr este cometido se deben de identificar nuevos sitios de asentamiento para las nuevas plantas nucleares, así como el desarrollo de uno o varios sitios de depósito para los residuos radioactivos generados durante este período, que cumplan con todas las características de seguridad impuestas por la OIEA. Se debe también considerar el otorgamiento de una extensión de la vida útil de Laguna Verde a 60 años, y el desarrollo de la infraestructura de transmisión de la energía eléctrica, así como de las vías de comunicación del sitio de las nuevas plantas nucleares.

A medida que el programa avance será necesario desarrollar la infraestructura minera nacional, para aprovechar las reservas de uranio existentes en nuestro país.

5.3.2 Producto.

Las anteriores tres causas tienen como efecto al producto. El producto es entonces la consecuencia de los procesos, de la operación y del equipo utilizado. Estas tecnologías que se logran a través de la forma en que se constituye la organización, generan un producto.

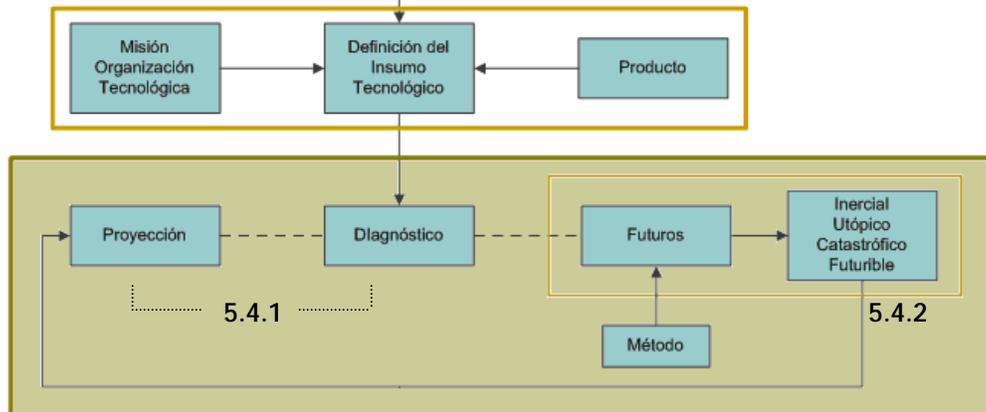
Cuadro 14. Características del producto.

Producto	Características	Indicador
Electricidad	Cantidad	Número de personas que no cuentan con el servicio.
	Calidad	Cantidad de interrupciones del servicio.
	Precio	Comparación del costo con otros países.
	Diversificación	Cantidad de proyectos puestos en marcha o en construcción.

5.4 Desarrollo de la prospectiva.

El siguiente paso en esta prospectiva estratégica es la definición de los escenarios estratégicos, para esto se decide utilizar el método de la técnica de escenarios.

Figura 53. Etapa actual del proceso: Desarrollo de la prospectiva.



Para la utilización de esta técnica es necesario el desarrollo de los elementos pertenecientes a la matriz prospectiva que se muestra en la tabla 19. Esta matriz consta de diferentes elementos, siendo el primero de éstos la definición de los indicadores de nuestro fenómeno, los cuales se definen en el siguiente apartado.

Indicadores

La estructuración del PREN requiere de la identificación y el entendimiento de varios riesgos asociados a un programa de esta magnitud y complejidad. Algunos riesgos son similares a los de cualquier otro proyecto energético; y otros son claramente únicos y propios de la energía nuclear. De acuerdo al proceso prospectivo, este programa deberá estar sujeto a una constante revisión y actualización mientras el programa progresa.

El programa nuclear, posee esquemas de largo plazo. Posee costos significativos de operación y mantenimiento, y costos relativamente bajos de combustible. Todo esto existe en un riguroso ambiente regulatorio donde el regulador supervisa activamente las operaciones de las plantas y tiene autoridad considerable para impactar la construcción de las unidades y las operaciones.

Las plantas nucleares están también sujetas al escrutinio público y sus inquietudes. Estas inquietudes frecuentemente se centran en cuestiones como el manejo del desperdicio nuclear a largo plazo y las consecuencias potenciales de un evento de seguridad de baja probabilidad. El siguiente cuadro enlista los riesgos asociados con el PREN.

Cuadro 15. Matriz de riesgos del PREN.

	Desarrollo	Construcción	Operación	Desmantelamiento
Científico y Técnico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación regulatoria ▪ Conveniencia del sitio ▪ Impacto ambiental ▪ Aprobación de la planeación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguridad ▪ Conclusión del diseño/cambios ▪ Evaluación regulatoria/aprobaciones ▪ Desempeño vendedor y contratista ▪ Cadena de suministro del equipo ▪ Mano de obra experimentada y capacitada ▪ Calidad de la construcción ▪ Rutas de transporte al sitio ▪ Agenda de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguridad ▪ Desempeño de la planta ▪ Mano de obra experimentada y capacitada ▪ Evento nuclear en alguna otra parte del mundo ▪ Evento nuclear ▪ Medio ambiente ▪ Cadena de suministro del combustible 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguridad ▪ Conclusión del diseño/cambios ▪ Evaluación regulatoria/aprobaciones ▪ Desempeño del contratista ▪ Cadena de suministro del equipo ▪ Mano de obra experimentada y capacitada ▪ Rutas de transporte al sitio
Económico y Legal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Economía ▪ Pronóstico de la demanda ▪ Disposición del combustible utilizado y el desecho radioactivo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambios en el diseño ▪ Retrasos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio de la electricidad ▪ Mecanismo de cobro de emisiones ▪ Costos del combustible ▪ Adiciones al capital ▪ Clausura temprana ▪ Costo de la disposición del combustible gastado y el desecho radioactivo ▪ Desempeño del fondo para el desmantelamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fondo para el desmantelamiento
Social y Político	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apoyo del público en general y aprobación local ▪ Política que apoye a la necesidad de la energía nuclear ▪ Política del manejo de los desechos ▪ Mecanismo de desmantelamiento y manejo de los desechos ▪ Política medioambiental 			

FUENTE: Structuring Nuclear Projects for Success. WNA.

De la misma manera en que se sustentó la elaboración de las fortalezas y debilidades en el análisis FODA, la matriz de riesgos se sustenta en la documentación consultada sobre el tema nuclear.

El siguiente cuadro muestra los métodos o indicadores, con los cuales los riesgos del programa nuclear pueden ser monitoreados y/o controlados para satisfacer los riesgos enlistados en el cuadro anterior, así también se enlistan una serie de indicadores esenciales para el desarrollo del PREN.

Cuadro 16. Indicadores de control de riesgos, monitoreo y desarrollo del PREN.

	Desarrollo	Construcción	Operación	Desmantelamiento
Científico y Técnico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseños internacionalmente aceptados ▪ Construcción en sitios nucleares existentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollo de arreglos contractuales para los actores involucrados ▪ Reclutamiento ▪ Recursos humanos y entrenamiento ▪ Inversión en transporte e infraestructura cerca del sitio ▪ Sólida administración del programa ▪ Experiencia de construcción previa ▪ Colaboración para la identificación de necesidades futuras, capacidades tecnológicas y asimilación de la tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participación en la WANO, INPO, etc... ▪ Inversión en nuevas instalaciones de combustible nuclear ▪ Invertir continuamente en el mantenimiento y mejoramiento de la planta ▪ Recursos humanos y entrenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Decidir una estrategia de desmantelamiento tan temprano como sea posible ▪ Desarrollo de alternativas para el manejo de los residuos radioactivos de alta actividad
Económico y Legal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construir casos de financiamiento basados en varios escenarios de demanda ▪ Actualización y fortalecimiento de la infraestructura legal ▪ Actualización y fortalecimiento del cuerpo regulador 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apegarse a diseños estandarizados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollar buenos contratos de combustible ▪ Internalización de los costos de desecho del CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contribuir a una buena definición del fondo de desmantelamiento.
Cultural, Social y Político	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debates público y audiencias ▪ Aceptación pública de las tecnologías y sistemas de almacenamiento de residuos nucleares ▪ Obtener un pacto de apoyo político ▪ Enfatizar las ventajas medioambientales de la energía nuclear 			

FUENTE: Structuring Nuclear projects for Success. WNA.

Definición de los indicadores

Desarrollo

Cuadro 17. Indicadores: desarrollo.

Científico y técnico			
Indicadores	Definición	Índice	
DCT1	Diseños internacionalmente aceptados	Utilización de reactores nucleares cuyo diseño tenga aprobación internacional.	Utilización de este tipo de diseños.
DCT2	Construcción en sitios nucleares existentes	Valoración y enumeración de sitios nucleares idóneos así como de sus potencialidades.	Número de sitios propicios con capacidad para n plantas nucleares.

Económico y legal			
Indicadores	Definición	Índice	
DEL1	Construir casos de financiamiento basados en varios escenarios de demanda	Construcción de casos de financiamiento y valoración de escenarios de demanda	Número de casos construidos.
DEL2	Actualización y fortalecimiento de la infraestructura legal	Actualización y fortalecimiento de los aspectos reguladores y de la legislación actual.	Número de revisiones, normas instauradas y reformas realizadas a la legislación nuclear actual.
DEL3	Actualización y fortalecimiento del cuerpo regulador	Actualización y fortalecimiento de mejores metodologías y aumento en el personal capacitado.	Número de programas de respaldo a la CNSNS y número de programas o redes de asistencia para desarrollar recursos humanos.

Construcción

Cuadro 18. Indicadores: construcción.

Científico y técnico			
Indicadores	Definición	Índice	
CCT1	Desarrollo de arreglos contractuales para los actores involucrados	Contratos celebrados en torno a fechas de entrega, respaldo tecnológico, y transferencia de tecnología.	Número de contratos celebrados.
CCT2	Reclutamiento	Promoción del programa nuclear.	Número de conferencias y campañas de promoción
CCT3	Recursos humanos y entrenamiento	Desarrollo del personal que participará en la construcción, operación y desmantelamiento de las nuevas instalaciones nucleares.	Número de programas de respaldo y entrenamiento especializado al personal de la CFE.
CCT4	Inversión en transporte e infraestructura cerca del sitio	Inversión monetaria comprometida en comunicar los nuevos sitios nucleares, así como el desarrollo de la infraestructura eléctrica necesaria, de manera efectiva.	Monto de la inversión.

Continuación...

Científico y técnico			
Indicadores		Indicadores	Indicadores
CCT5	Sólida administración del programa	Contratación de personal de administración de calidad.	Número de evaluaciones aprobatorias realizadas al personal de administración contratado.
CCT6	Experiencia de construcción previa	Documentación de los proyectos realizados con anterioridad.	Documentación disponible de los proyectos realizados anteriormente.
CCT7	Colaboración para la identificación de necesidades futuras, capacidades tecnológicas y asimilación de la tecnología	Realización de contratos de transferencia de tecnología con el proveedor de la tecnología e inicio de programas de asimilación de la tecnología.	Número de contratos celebrados y programas emprendidos.

Económico y legal			
Indicadores		Definición	Índice
CEL1	Apegarse a diseños estandarizados	Utilización de diseños estandarizados de reactores	Ahorro en tiempo y dinero con la utilización de estos diseños.

Operación

Cuadro 19. Indicadores: operación.

Científico y técnico			
Indicadores		Definición	Índice
OCT1	Participación en la NEA, OIEA, WANO, INPO, etc.	Participación en organismos internacionales de investigación y desarrollo tecnológico, regulación y operación de plantas nucleoelectricas.	Número de programas en los que se participa activamente.
OCT2	Inversión en nuevas instalaciones de combustible nuclear	Inversión monetaria comprometida en este tipo de instalaciones.	Monto de la inversión.
OCT3	Invertir continuamente en el mantenimiento y mejoramiento de la planta	Inversión destinada al mantenimiento y/o modernización de las nuevas instalaciones nucleares.	Monto de la inversión.

Económico y legal			
Indicadores		Definición	Índice
OEL1	Desarrollar buenos contratos de combustible	Reserva contratada de combustible importado.	Número de contratos y reservas probadas.
OEL2	Internalización de los costos de desecho del CO ₂	Penalización aplicada a la emisión de CO ₂ en la generación de energía eléctrica.	Costo por unidad de CO ₂ liberado a la atmósfera

Desmantelamiento

Cuadro 20. Indicadores: desmantelamiento.

Científico y técnico			
Indicadores		Definición	Índice
DMCT1	Decidir una estrategia de desmantelamiento tan temprano como sea posible	Desarrollo de estrategias y planes para el desmantelamiento de las plantas.	Número de estrategias y planes para el desmantelamiento de las plantas.
DMCT2	Desarrollo de alternativas para el manejo de los residuos radioactivos de alta actividad	Desarrollo de alternativas para realizar distintas opciones de depósito y localización de posibles emplazamientos geológicos adecuados.	Número de alternativas e investigaciones para localizar posibles emplazamientos geológicos adecuados.
Económico y legal			
Indicadores		Definición	Índice
DMEL7	Contribuir a la buena definición del fondo según se requiera	Establecimiento de un fondo destinado a la clausura de la central y a una eventual clausura prematura..	Costo añadido al costo de capital de la planta.

Cultural, social y político

Cuadro 21. Indicadores: Cultural, social y político.

Cultural, social y político			
Indicadores		Definición	Índice
CSP1	Debates públicos y audiencias	Realización de actividades de debate sobre la energía nuclear para lograr la aceptación pública.	Número de debates y conferencias de consenso realizados entre el público, los expertos y el gobierno,
CSP2	Aceptación pública de las tecnologías y sistemas de almacenamiento de residuos nucleares	Provisión de información al público.	Inversión en campañas de información adecuada.
CSP3	Obtener un pacto de apoyo político	Provisión de información a los actores involucrados enfatizando las ventajas de esta tecnología.	Número de programas emprendidos para proporcionar la información.
CSP4	Enfatizar las ventajas medioambientales de la energía nuclear	Enfatización de las ventajas medioambientales de la energía nuclear en las campañas de provisión de información al público y a los actores políticos involucrados.	Número de campañas de información enfocadas en los beneficios medioambientales de la energía nuclear con respecto a la generación por medio de combustibles fósiles.

5.4.1 Diagnóstico y Proyección.

El diagnóstico consiste en el establecer, de manera cualitativa, el estado actual de los indicadores y la proyección es la evaluación de los indicadores en el pasado.

Utilizando la clasificación del cuadro 16, a continuación se describe la situación actual de los indicadores englobados en cada rubro, así como las proyecciones de éstos, siempre y cuando, no se carezca de éstas.

Desarrollo: Científico y técnico

Diagnóstico

Diseño. Laguna Verde es la única Central Nuclear de México, cuenta con 2 unidades generadoras. Los reactores son marca General Electric, tipo Agua Hirviente (BWR-5), contención tipo Mark II de ciclo directo. El sistema nuclear de suministro de vapor fue adquirido a General Electric y el Turbogenerador a Mitsubishi Heavy Industries.

Sitio. La Central Nucleoeléctrica Laguna Verde (CNLV) está ubicada en el sitio costero del mismo nombre, que pertenece al municipio de Alto Lucero, en el Estado de Veracruz, se localiza a 70 km al noroeste del puerto de Veracruz y a 290 km al noreste de la Ciudad de México.

Tabla 22. Datos técnicos de la central nucleoeléctrica Laguna Verde.

Localización	70 km al NNO de la ciudad de Veracruz.
Número de unidades	2
Proveedor de los sistemas nucleares de suministro de vapor	General Electric
Tipo de reactor	BWR-5 (Reactor de agua ligera en ebullición)
Potencia térmica por reactor	2,021 MW _t
Carga inicial de combustible por reactor	444 ensambles; 92 ton de combustible (UO ₂) al 1.87% U ²³⁵ en promedio.
Recarga anual de combustible por reactor	112 ensambles al 3.5% de U ²³⁵
Proveedor de los turbogeneradores	Mitsubishi Corporation
Potencia eléctrica bruta por unidad	682.44 MW _e
Potencia eléctrica neta por unidad	655.14 MW _e
Energía anual generada por unidad	4,782 GWh, al 80% de factor de capacidad
Ahorro anual en combustóleo por unidad	1,096,000 m ³ (6 millones 895 mil barriles)
Líneas de transmisión	3 de 400 KV (Tecali, Puebla y Poza Rica) 2 de 230 KV (a la Ciudad de Veracruz)

FUENTE: Del Fuego a la energía Nuclear. CFE. 2006.

Proyección

Sitio. El Doctor Carrillo Flores, rector de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) de 1953 a 1961, así como otros científicos, impulsaron la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), cuya fundación se dio en 1956, con el objetivo de regular las aplicaciones energéticas y no energéticas, así como los estudios en ciencias nucleares.

La CNEN tomó total responsabilidad por todas las actividades nucleares en el país excepto por el uso de radioisótopos y la generación de potencia eléctrica. A la CFE, le fue asignado el rol de futuro generador de energía nuclear.

En 1966 empezaron a realizarse investigaciones preliminares por parte de la CNEN y la CFE para la identificación de sitios potenciales para plantas nucleares y en 1969 la CFE puso en licitación el diseño de plantas nucleares con capacidad de 600 MW_e. La asignación final del contrato se le otorgó a General Electric esto ocurrió a mediados de 1972. Posteriormente dada la importancia de los factores sísmicos, se integraron en esta tarea el Instituto de Geofísica, el Instituto de Ingeniería de la UNAM y consultores internacionales expertos, algunos de ellos de la OIEA.

La selección del emplazamiento tomó en cuenta factores aplicables a la localización de centrales convencionales, con la única salvedad de que tal sitio no se viera afectado por la ubicación de las fuentes de combustibles fósiles, además de los factores específicos de las centrales nucleares que incluyen desde las características de peso y volumen de los diversos elementos que conforman la central hasta una serie de aspectos relacionados con la seguridad nuclear, utilizando las normas técnicas vigentes en Estados Unidos.

El objeto de esos primeros estudios era incluir las características de los sitios en las especificaciones que se hicieron llegar a los fabricantes y posibles proveedores de equipo.

Fueron 4 criterios básicos que condujeron a la localización del sitio adecuado:

1. La relativa cercanía a los centros de consumo (especialmente a la Ciudad de México).
2. La disponibilidad de agua de enfriamiento.
3. La estabilidad sísmica del lugar.
4. Un tipo de suelo preferentemente rocoso para la cimentación de la construcción.

Para la toma de la decisión definitiva se tuvo en cuenta que muy probablemente, a la primera unidad, seguirían otras en otros plazos relativamente breves.

El potencial de expansión y la facilidad de acceso por mar significaron ventajas muy importantes. También se analizó el comportamiento de los vientos durante huracanes o tornados y los posibles efectos de tsunamis, ya que es condición obligatoria de fundamental importancia, que de llegar a ocurrir cualquiera de estos fenómenos naturales en el transcurso de la vida activa de la Central, sus distintas estructuras y edificios los soporten, sin menoscabo alguno de su seguridad.

Finalmente, después de esta larga y minuciosa tarea para la selección óptima del sitio, el primer colado de concreto para la cimentación de la obra se realizó en el mes de octubre de 1976.

Desarrollo: Económico y Legal

Diagnóstico

Económico. Gran parte de la inversión en México proviene de recursos propios de la CFE generados por la aplicación de tarifas al uso del servicio eléctrico. Así como, de cualquier subsidio otorgado por el Gobierno Federal a la CFE, ambos constituyen la fuente de recursos "propios" de este organismo.

Debido a la dependencia de esta paraestatal con respecto a la SENER, la CFE se encuentra supeditada a los planes que ésta tenga y por supuesto al presupuesto que se le otorga. La SENER trabaja con escenarios de demanda, basados en una tasa de incremento en la demanda anual, y en eso se cimientan sus casos de financiamiento para proyectos de incremento en infraestructura.

Legal. En cuanto al desarrollo de la infraestructura legal y del cuerpo regulador, México cuenta con todo un marco regulatorio en materia nuclear, que ya fue minuciosamente expuesto al principio de este capítulo, por lo que se puede decir que se cuenta con un suficiente desarrollo de su infraestructura legal, así como de su cuerpo regulador, los cuales son susceptibles de actualización y fortalecimiento.

Construcción: Científico y técnico

Diagnóstico

Investigación y Desarrollo. A la fecha la principal organización de investigación en México es el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). En el ámbito de los usos pacíficos de la energía nuclear, el ININ ha definido 11 líneas de investigación y desarrollo, en las cuales enfoca sus actividades científicas y tecnológicas dirigidas a mejorar las condiciones de vida de la población.

En resumen estas líneas son: Ciencias nucleares, Fuentes energéticas, Tecnología de reactores nucleares, Materiales nucleares y radiactivos, Seguridad Nuclear y radiológica, Gestión de desechos radiactivos, Ecología y protección del medio ambiente, Aplicaciones de los aceleradores de partículas, Aplicaciones de las radiaciones a los sectores industria, salud y agropecuario, Química y Radioquímica, Radio biología y genética. El instituto cuenta con personal capacitado y reconocido en el ámbito nacional e internacional en diversas áreas de la ciencia e ingeniería, que le dan la capacidad de afrontar proyectos multidisciplinarios.

A su vez en nuestro país existen otras Instituciones que investigan e imparten educación en materia nuclear, las cuales se mencionan a continuación:

- **La Universidad Nacional Autónoma de México**, que posee el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Dentro del campo del conocimiento “Energía” se ofrece un programa de Maestría en el Área de Sistemas Energéticos con perfil en Sistemas Núcleoeléctricos. Cuenta también con instalaciones ubicadas en el estado de Morelos, las cuales cuentan con una importante capacidad de cómputo para la simulación de procesos nucleares.
- **La Universidad Nacional Autónoma de Zacatecas**, que posee un Modelo subcrítico Chicago 900 usado para entrenamiento, comisionado en 1969.²²³
- **Facultad de Química de la UNAM.**
- **Departamento de ingeniería nuclear de la ESFM-IPN.**
- **División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM Iztapalapa.**
- **Facultad de Ciencias de la UAEM.**
- **Facultad de ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UV Campus Xalapa.**

Personal. El personal que labora en la CNLV cuenta con un alto nivel de preparación para el desarrollo de su trabajo. La alta calidad en el adiestramiento está asegurada con las rigurosas auditorias de los programas de entrenamiento realizadas por organismos reguladores nacionales e internacionales.

Proyección

Administración del programa nuclear. Años después de su creación, la CNEN fue transformada en el Instituto Nacional de Energía Eléctrica (INEN), el cual fue dividido en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Uranio Mexicano (URAMEX) y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS). Algunas de las funciones de URAMEX fueron absorbidas por la SENER en 1985, después de su desaparición.

223 *Ibíd*em 194.

La separación del área productiva de la tecnología e investigación fue altamente inconveniente en una industria donde juega un papel tan importante la tecnología. La industria nuclear es una industria de punta donde la tecnología tiene que estar abordando constantemente los problemas que va planteando un proceso productivo tan complejo.

Los reactores nucleares de Laguna Verde, se compraron en el extranjero sin ningún convenio de transferencia tecnológica y actualmente no hay posibilidades de absorberla en su totalidad.

Aparte de la obra negra de construcción, todo el equipo se compró al extranjero, además para la administración del proyecto, se contrató a una compañía norteamericana. La mala administración del proyecto, se tradujo en un enorme retraso del mismo.

No se contempló en el largo plazo el desarrollo tecnológico en reactores y combustibles nucleares, ni la eventual instalación de fábricas para producirlos. La separación de la producción, la investigación y el desarrollo tecnológico, y la asignación de funciones tuvieron como consecuencia la creación de dos dinámicas ajenas, cada una con sus propios objetivos y ritmos de trabajo.

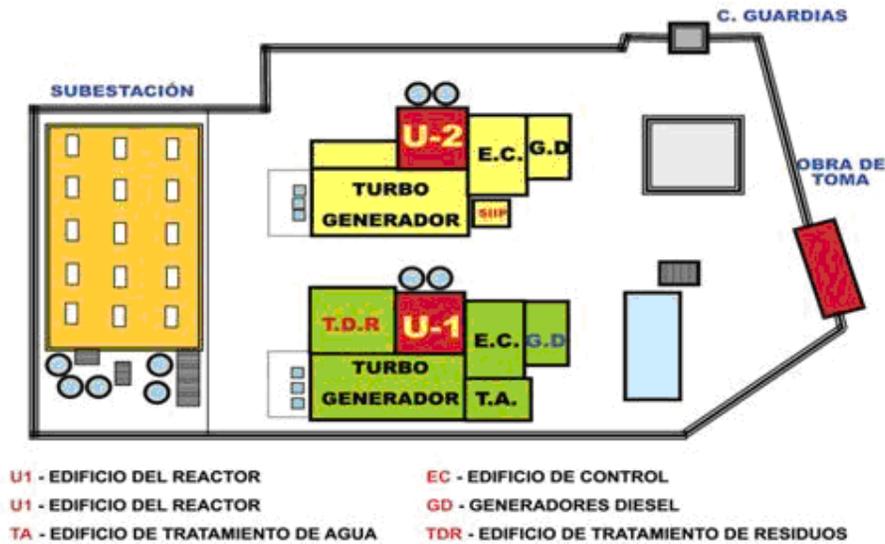
Personal. En el caso de Laguna Verde se han invertido más de un millón trescientas mil horas-hombre para cubrir la gama de cursos necesarios; por ejemplo, para que una persona pueda ser calificada como operador de reactor debe de cubrir satisfactoriamente cuatro años de entrenamiento, incluyendo cursos de simulador.

Construcción: Económico y Legal

Diagnóstico y Proyección.

Diseño. La central está conformada por dos unidades generadoras. Cada unidad consta de seis edificios principales y otros secundarios. Ambos tipos de edificios se encuentran dentro de un área delimitada por una doble cerca con acceso restringido.

Figura 54. Distribución de Planta Unidades 1 y 2.²²⁴



FUENTE: CFE, Central Laguna Verde, 2009.

- **Edificio del reactor.** Alberga en su interior al reactor nuclear, sus sistemas auxiliares y sus sistemas de seguridad, la plataforma de recambio de combustible y la alberca de combustible utilizado.

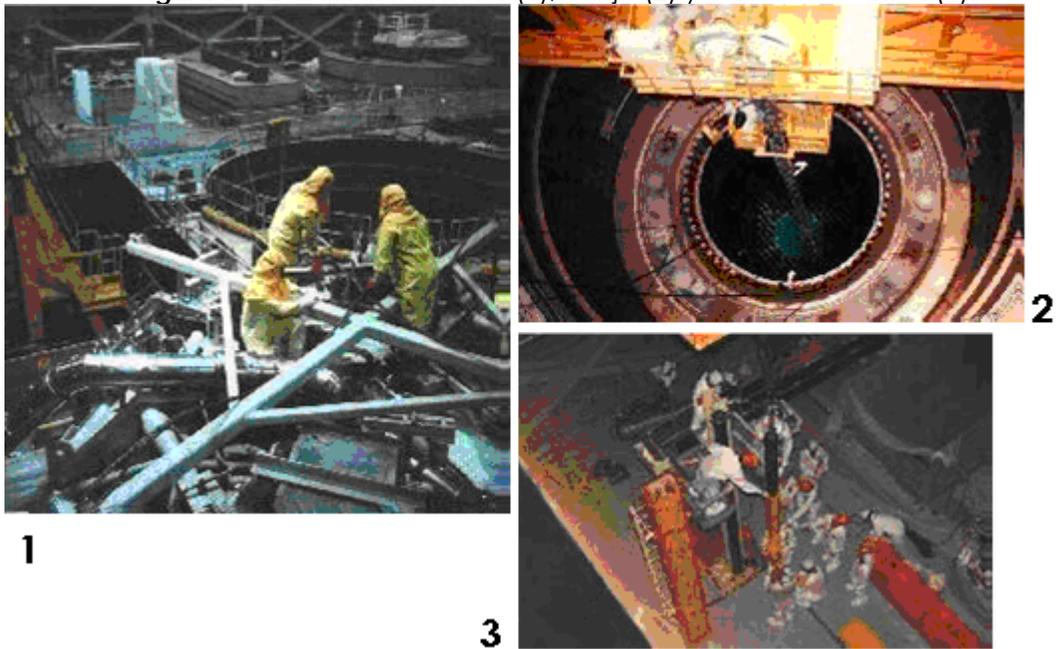
Este edificio mide aproximadamente 40 m² de base y 74 m de altura, se divide en dos secciones; el contenedor primario y el contenedor secundario.²²⁵

El contenedor primario es una estructura cilíndrica cónica constituida con paredes de concreto de 1.5 m de espesor. La parte interna de esta estructura está recubierta con una placa de acero de 6 mm de espesor. La contención primaria está dividida en dos partes: la parte superior llamada pozo seco (que contiene fundamentalmente la vasija del reactor, las tuberías de los sistemas de vapor principal, agua de alimentación de recirculación, además de los sistemas auxiliares, controles e instrumentación necesarios de acuerdo con el diseño) y la parte inferior, llamada alberca de supresión de presión, utilizada para aliviar excesos de presión en la vasija y tuberías del sistema de vapor principal.

²²⁴ CFE, Central Laguna Verde. www.cfe.gob.mx consultada el 16 de Noviembre de 2009.

²²⁵ Del Fuego a la energía Nuclear. CFE. 2006.

Figura 55. Edificio del reactor (1), vasija (2) y barras de control (3).



FUENTE: Del Fuego a la energía Nuclear. CFE. 2006.

La vasija del reactor es un recipiente cilíndrico de aproximadamente 20 m de longitud, diseñado y fabricado con acero de baja aleación, recubierto internamente con acero inoxidable. El núcleo del reactor es alojado en el interior de la vasija y es aquí donde tiene lugar la fisión nuclear del átomo que permite la producción del vapor nuclear el cual es enviado directamente al grupo del turbogenerador.

El núcleo del reactor está constituido por 444 ensambles de combustible y contiene cerca de 92 toneladas de uranio en 109 barras de control y agua utilizada como refrigerante y moderador.

El combustible nuclear se encuentra alojado en pequeñas pastillas cilíndricas de 1.25 cm de diámetro y 1 cm de altura, introducidas a su vez en tubos construidos con Zircaloy, con una longitud aproximada de 4 m, denominadas barras de combustibles. El arreglo de 62 de estas barras más 2 barras huecas por donde circula agua forman un ensamble de combustible.²²⁶

Las barras de control son de forma cruciformes, fabricadas de acero inoxidable y contienen en su interior carburo de boro. Estas barras son operadas mediante mecanismos hidráulicos y están situadas en la parte inferior de la vasija.

226 Del Fuego a la energía Nuclear. CFE. 2006.

Las barras de control son desplazadas verticalmente en el núcleo del reactor con la finalidad de controlar la fisión nuclear, y pueden ser insertadas en breves segundos (varían entre 3 y 5 segundos) cuando se requiere un apagado súbito del reactor.

El contenedor secundario está construido con paredes de concreto de 0.5 m de espesor y se divide en 8 niveles o pisos, estando en la cota 49.90 el piso superior o de recarga de combustible. En este nivel se encuentran las albercas de combustible nuevo y gastado, así como la cavidad del reactor. Los equipos necesarios para la introducción y extracción de los elementos de combustibles también están ubicados en este nivel.

Cabe resaltar que la contención secundaria siempre es mantenida a una presión menor a la exterior, lo que impide en todo momento la salida de gases.

- **Edificio de tratamiento de residuos radioactivos.** Aloja a los sistemas de tratamiento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos de mediano y bajo nivel de radioactividad.

Este edificio es común para ambas unidades y se encuentra al oeste del edificio del reactor de la unidad 1. Su función principal es el tratamiento de los residuos que se producen al realizar actividades en los diferentes edificios y en el proceso de los sistemas de la central.

Su trabajo se complementa en el edificio de purificación en la unidad 2, el cual se comunica a través de un túnel que permite la transferencia de los residuos de la unidad 2 a la unidad 1. Estos residuos se mezclan con asfalto, se compactan y se almacenan en bidones de 200 litros para posteriormente enviarlos al edificio de desechos de bajo y medio nivel.

- **Edificio de control.** Contiene el cuarto de control principal, computadora de proceso, cuarto de cables, los sistemas de refrigeración del reactor en situación de emergencia.

El edificio de control consta de 5 niveles o pisos, siendo el más relevante el de 25.10, ya que en él se ubica el cuarto de control. Es aquí donde por medio de consolas y tableros de control se reciben las señales. Personal altamente capacitado vigila y opera el funcionamiento de los sistemas que intervienen en su operación.

Adicionalmente, se cuenta con un sistema computarizado, parte del Sistema Integral de Información de Proceso (SIIP), que sirve de apoyo a los operadores para obtener información exacta y oportuna del funcionamiento de los elementos de los sistemas que intervienen en el proceso operativo de cada unidad generadora.

Figura 56. Edificio de control.



FUENTE: Del Fuego a la energía Nuclear. CFE. 2006.

- **Edificio de tratamiento de agua.** Contiene la planta de producción de agua desmineralizada de alta pureza para uso del ciclo de vapor (localizada en la Unidad 1).

El edificio de tratamiento de aguas se encuentra ubicado en el área de la unidad 1 y es común para ambas unidades. En éste se alojan los sistemas necesarios para tratar químicamente el agua (que es extraída de pozos de agua dulce), con el fin de obtener agua de excelente calidad sin minerales ni elementos extraños. Este líquido es enviado a los sistemas de agua de alimentación del reactor y agua de enfriamiento nuclear, entre otros sistemas.

Figura 57. Edificio de tratamiento de agua.



FUENTE: Del Fuego a la energía Nuclear. CFE. 2006.

En cuanto al taller mecánico, es un local que tiene en su interior máquinas y herramientas para dar mantenimiento a equipos electromecánicos, principalmente bombas y electroválvulas durante la operación de la central.

- **Edificio del turbogenerador.** Aloja a las turbinas de alta y baja presión, generador eléctrico y su excitador, condensador, los precalentadores de agua de alimentación y recalentadores de vapor.

Este edificio tiene como función convertir la energía térmica del vapor de agua proveniente del reactor, en energía mecánica a través de la turbina. Esta energía es convertida posteriormente en energía eléctrica en el generador principal.

- **Edificio de generadores diesel.** Aloja tres generadores diesel que se utilizan para el suministro de energía eléctrica a los sistemas de refrigeración del reactor, en situación de emergencia.

El diseño de Laguna Verde cumplió con las normas nacionales e internacionales necesarias para su construcción. En 1976 comenzó la construcción de Laguna Verde con dos reactores General Electric de agua hirviente (BWR). El primero entró en operación comercial el 29 de Julio de 1990 y el segundo el 10 de abril de 1995.

Operación: Científico y Técnico

Diagnóstico

Operación. Los reactores de Laguna Verde utilizan el fluido refrigerante (agua desmineralizada), que pasa por el núcleo del reactor a alta presión y hierve al extraer el calor que se produce por la fisión nuclear del combustible. El vapor húmedo, se separa del agua, y se seca dentro de la misma vasija hasta alcanzar una calidad de 99.7% para enviarse directamente por cuatro tuberías a la turbina de alta presión y luego a las de baja presión.

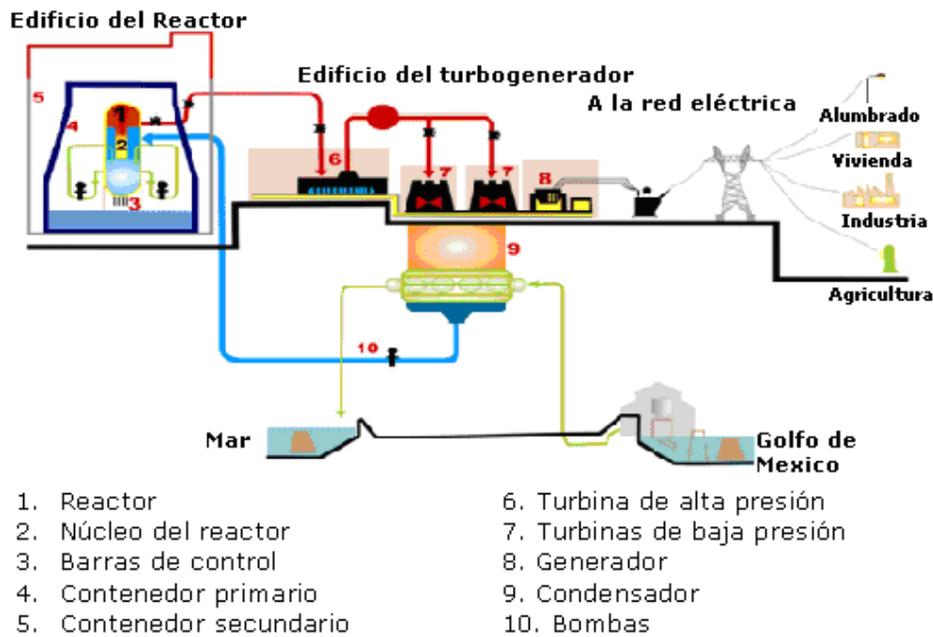
Debido al proceso de expansión que sufre el vapor al llegar a la turbina, se tiene como resultado vapor a alta velocidad, chocando con los álabes o paletas de las turbinas, obteniendo la energía mecánica para mover el generador eléctrico. Luego de mover las turbinas, el vapor pasa por el condensador, que opera al vacío, donde se enfriará con agua de mar y se convierte nuevamente en líquido.

El caudal de agua de enfriamiento fluye por los tubos del condensador a presión atmosférica, no entrando en contacto con el agua desmineralizada del reactor. El agua de mar se descarga en un canal abierto de gran longitud, para disipar el calor adquirido en el condensador antes de incorporarse de nuevo al Golfo de México. El agua desmineralizada antes de precalentarse y bombearse a la vasija del reactor para cerrar el ciclo termodinámico, se hace pasar por filtros con resinas de intercambio iónico donde se le quitan impurezas. Posteriormente es

incorporada por un sistema de bombas al reactor venciendo la presión interna del mismo.

La subestación de la Central Laguna Verde se conecta a la red eléctrica nacional mediante dos líneas de transmisión de 230 kV a la subestación Veracruz II, así como tres líneas de transmisión de 400 kV; una de ellas a la subestación Puebla II, otra a la subestación Tecali, y la tercera a la subestación poza Rica II.²²⁷

Figura 58. Ciclo termodinámico CNLV.



FUENTE: CFE. Del Fuego a la energía Nuclear.

Participación internacional. México forma parte de los países asociados a la *World Association of Nuclear Operators (WANO)*, que es un organismo creado para maximizar la seguridad y confiabilidad en la operación de plantas nucleares mediante el intercambio de información y comunicación reforzada, mediante la comparación y emulación entre sus miembros. Forma parte también de los países miembros del *INPO (Institute of Nuclear Power Operators)*, que es otro organismo que promueve la excelencia en la operación de las plantas nucleoelectricas. Forma parte también del (Organismo Internacional de Energía Atómica) *OIEA* y de la *NEA (Nuclear Energy Agency)*

Ciclo del combustible. Se tienen identificadas reservas de uranio en México por alrededor de 2,000 toneladas, las cuales están en espera de ser extraídas bajo el argumento de que resultaría económicamente inviable explotarlas dados los bajos precios internacionales del combustible nuclear.

227 Del Fuego a la energía Nuclear. CFE. 2006.

Inversión en mantenimiento e incremento de la vida útil. La repotenciación en las centrales nucleares se lleva a cabo para darle capacidad adicional al sistema nuclear de suministro de vapor. Es por esto que en febrero del 2007 la CFE firmó contratos con la compañía española Iberdrola así como con la compañía Alstom para acoplar nuevas turbinas y generadores a la planta de Laguna Verde. De este modo podrá producir 20% más energía y alargar su vida útil 20 años más. Con el consentimiento de la CNSNS, los reactores podrán entrar en operación en el 2010.²²⁸

La oferta presentada fue de 605.06 millones de dólares. Una turbina y generador totalmente “modernizados” permitirán incrementar la capacidad de Laguna Verde hasta un 20%. Actualmente, tiene una capacidad de generación de 1,365 MW que representan el 2.85% de la capacidad efectiva de generación de la CFE.²²⁹

El incremento de la capacidad de generación eléctrica al 120% durante 20 años más, por cada reactor, es equivalente a 1 nuevo reactor disfrazado de mediana potencia. Lo menos que puede decirse es que Laguna Verde seguirá operando hasta el año 2050 cuando, originalmente, estaba diseñada para desmantelarse 30 años antes. La vida útil de la central se había estimado en 30 años, después en 40; ahora se plantea que llegue a 60 años.

La repotenciación al proyecto, para la rehabilitación y modernización de la central nucleoelectrónica Laguna Verde unidades 1 y 2, que comprende el diseño, ingeniería, suministro de equipos y materiales, partes de repuesto, herramientas especiales y desmontaje. Además, incluye la construcción, instalación, pruebas, apoyo técnico, fletes, seguros, aranceles, impuestos, manejo aduanal y capacitación requeridos.

Proyección

Participación internacional. Internacionalmente la Central Nuclear Laguna Verde (CNLV) participa como miembro de las organizaciones ya mencionadas, pero es en el ámbito nacional en donde la central ha sido acreedora de los siguientes reconocimientos:

- Empresa Socialmente Responsable.
- 2007 Premio Nacional de Calidad 2007 como empresa de gobierno.
- 2007 Excelencia Ambiental.
- 2006 Certificación de Industria Limpia, otorgado por PROFEPA.
- 2006 Recertificación de ISO 9001:2000, ISO 14001:2004 y NMX-SAST-01:2000 por CALMECAC.
- 2006 Acreditación del laboratorio de Metrología otorgado por la norma EMA.

²²⁸ World Nuclear Association. Nuclear Power in Mexico. 20/11/2007.
<http://www.world-nuclear.org/info/inf106.html>

²²⁹ Repotenciación de Laguna Verde a Iberdrola. FTE de México. 2007. Pág. 84.

- 2003 Recertificación de conformidad con las normas internacionales y mexicanas, ISO-9001:2000/NMX-CC-9001:2000 para el sistema de gestión de la calidad, el cual es aplicable a la generación de energía eléctrica por medios nucleares.
- 2002 Certificado de conformidad con la norma mexicana NMX-SAST-001-IMNC-2000 para el sistema de administración de seguridad y salud en el trabajo
- 1999 Certificado de conformidad con las normas internacionales y mexicanas ISO-14000:1996/NMX-SAA-001:1998 para el sistema de administración ambiental, el cual es aplicable a la generación de energía por medios nucleares.
- 1997 Certificación del Sistema de Calidad de acuerdo a las Normas Nacionales e Internacionales NMX-CC-003:1995/ISO-9001:1994. El sistema de Calidad es aplicable a la generación de energía eléctrica por medios nucleares.
- 1997 El reactor de la Unidad 2 llegó a 358 días de operación continua, ingresando al Club "BWR 300 Plus" de General Electric. y se le calificó como la segunda Unidad BWR que lo consigue antes de los tres años de operación comercial, superando el record de operación interrumpida de la Unidad 1 establecido en el año de 1996.

Ciclo del combustible. México tiene experiencia en la extracción de uranio, pues en el pasado se operaron minas de uranio en nuestro territorio, principalmente en Sierra de Gómez, La Domitila y otras regiones de Chihuahua. Sin embargo, en los próximos años, el uranio requerido para las recargas de los reactores de Laguna Verde se obtendrá del mercado internacional, pues con la desaparición de URAMEX terminaron los planes para la producción de uranio en nuestro país.

Se puso en operación una planta piloto para la producción de combustible nuclear en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares; estuvo en funcionamiento de 1980 a 1996, pero fue cerrada por razones económicas. En ella se fabricaron 4 ensambles de combustible para ser usados en la CNLV. Fueron entregados en 1995 y operaron exitosamente en el reactor 1 de la central.

Inversión en mantenimiento e incremento de la vida útil. Desde fines de 2006, la CFE había abierto un concurso para licitar la repotenciación de las 2 unidades de la CNLV. El 19 de enero de 2006, la CFE recibió tres ofertas.²³⁰

Los consorcios que presentaron propuestas fueron General Electric Internacional Operations Company; General Electric Internacional y Diamante Nucleoeléctrica, SA de CV, que presentó una oferta de 951 millones 467 mil 898 dólares.

El segundo consorcio fue encabezado por Siemens Power Generation; Siemens Innovaciones; Techint Compegna Técnica Internationale; Sener Ingeniería y Sistemas y Proyectos Laguna Verde SA de CV, cuya oferta fue de 694 millones

²³⁰ Rodríguez I., en La Jornada. 20-Ene-2007.

900 mil 100 dólares. La tercera postura fue del grupo liderado por Iberdrola Ingeniería y Consultoría México; Iberdrola Ingeniería y Construcción; Sociedad Unipersonal y Alstom Mexicana, con una oferta de 605 millones 57 mil 403.25 dólares.

El 12 de febrero de 2007 se dio a conocer el fallo. Para el consorcio formado por las empresas Iberdrola Ingeniería y consultoría México, S.A. de C.V./Iberdrola Ingeniería y Construcción, S.A./Sociedad Unipersonal/Alstom Mexicana, S.A. de C.V.

Operación: Económico y Legal

Diagnóstico y Proyección

Contratos de combustible. El uranio usado en Laguna Verde se compra bien sea como hexafluoruro de uranio o como concentrado que luego es convertido en hexafluoruro de uranio por Comurhex, en Francia. El enriquecimiento lo lleva a cabo el Departamento de Energía de los E.U.A., mientras que la fabricación del combustible la realiza General Electric en los E.U.A. Se han probado también ensambles de combustible proporcionados por Siemens.

Desmantelamiento: Científico y Técnico

Diagnóstico

Desmantelamiento. Según información proveída por la página de la CFE en cuanto a la CNLV, se estudian diferentes posibilidades para su desmantelamiento, después de la vida útil de la central nuclear, se considera el cementar o simplemente clausurar. Otra solución en análisis es el revitalizar la central y seguirla utilizando por mayor tiempo mediante la renovación de su licencia de operación, como se está haciendo en otros países.

Se descarta el desmantelamiento inmediato de la planta al final de su operación debido a que una clausura temporal de la instalación por unos cien años, contribuye al decaimiento natural del material irradiado de todos los componentes, esto hace que todas las operaciones de desmantelamiento de la central sean mucho más sencillas.

En términos generales, el plan a seguir en este tema para la CFE es: la descontaminación de la planta, desmantelamiento, caracterización de los residuos, empaque, evacuación y limpieza del emplazamiento para su uso sin restricciones.

Combustible gastado. Actualmente los residuos son almacenados In Situ, esto es, en albercas en la misma central de Laguna Verde que ayudan a enfriar el material gastado, así como también ayuda a disminuir los niveles de radiación del desperdicio radioactivo. Las albercas de almacenamiento han sido rediseñadas para proveer suficiente espacio para almacenar el combustible utilizado de los dos reactores para la totalidad de sus vidas útiles. Cerca de 1000 t de material utilizado se encontraban almacenadas en el 2003.²³¹ De este modo, se gana tiempo para tomar una decisión final en torno al problema del combustible gastado con base en la disponibilidad y precio del uranio, la expansión del Sistema Eléctrico Nacional y el desarrollo de nuevas tecnologías. La misma estrategia es empleada con el material utilizado de los reactores de investigación.

En cuanto a los desechos de niveles de radioactividad bajo y medio producidos por la central, se planea la construcción de un nuevo repositorio también dentro de la planta, cuya capacidad sería suficiente para almacenar todos los desechos generados por las instalaciones médicas e industriales de todo el país.

Proyección

Combustible gastado. Desde que el gobierno federal decidió liquidar a su personal con el cierre de Uranio Mexicano (URAMEX) México se excluyó de un campo de desarrollo tecnológico y científico que incluye todas las ramas de desarrollo del ciclo del combustible nuclear, esto incluye desde su extracción hasta su depósito final.

Durante la operación de URAMEX se operó un sitio de depósito cerca de la superficie para desperdicios de bajo nivel en Piedrera entre 1985 y 1987. En ese entonces, 20,858 m³ de desperdicio fueron almacenados. También, un centro de tratamiento y almacenamiento para desperdicios de bajo nivel ha operado en Maquixco desde 1972.²³² Se planea cerrar este repositorio para desechos de radioactividad baja y media, producidos en instituciones médicas e industriales, en un futuro cercano para evitar conflictos sociales.

Desmantelamiento: Económico y Legal

Diagnóstico

Fondos. Es de esperarse que los fondos para el desmantelamiento de la planta, ya sea de manera temprana o de manera regular, provengan del presupuesto otorgado por el gobierno hacia la CFE, y de sus finanzas internas, hasta el momento no se ha llegado a este punto en lo que respecta a la vida de la planta.

231 Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries, OECD/NEA 2005.

232 World Nuclear Association. Nuclear Power in Mexico. 20/11/2007.

<http://www.world-nuclear.org/info/inf106.html>

Diagnóstico

Sondeos de la opinión pública. En México, al igual que en muchos otros países, la sociedad civil esta adquiriendo un papel cada vez mas importante en la toma de decisiones sobre asuntos de interés nacional. Uno de ellos es el uso de la tecnología nuclear y particularmente la generación de energía nucleoelectrica. En 2007 el ININ presento un estudio de la percepción de la energía nuclear en México, este estudio arrojó una serie de resultados que se mencionan a continuación:

1. La desinformación sobre la generación de electricidad y la energía nuclear es muy alta; mayor en estrato bajo, y mayor pero errónea (mitos) en estratos más altos. Ello afecta la firmeza de las opiniones, “abiertas al mejor postor”, es decir que el posicionamiento del tema en una población tan desinformada es volátil y fácilmente manipulable por quien domine los medios de comunicación.
2. Los principales mitos son:
 - Se asocia la energía nuclear con la bomba atómica (excepto en regiones cercanas a Laguna Verde) y se piensa que se trata de la misma tecnología.
 - Las radiaciones que emanarían de la central al aire libre o al subsuelo (directamente o a través de agua contaminada descargada por la Central) se perciben como el principal riesgo.
 - Se piensa que una Central Nuclear podría explotar como una bomba.
 - Hay poca o nula mención espontánea de desechos radioactivos.
3. Existe un alto grado de tolerancia al riesgo en la cultura mexicana; en relación a este tema esta tolerancia es mayor: 1) cuando se ha vivido cerca del riesgo sin ver consecuencias negativas; 2) en segmentos más desinformados y, por tanto, más dispuestos a escuchar información alternativa o 3) más cercanas a la región de Laguna Verde.
4. La información básica sobre la seguridad de las nucleoelectricas puede revertir esta percepción de riesgo, más aun que ofrecer un beneficio ambiental, aunque éste último también tiene un efecto positivo.

5. Que la desinformación sobre las fuentes de electricidad, su nivel de contaminación y su viabilidad para el futuro reduce el posible impacto de argumentos positivos sobre la Energía Nuclear. La información sobre esas fuentes alternativas facilita la comunicación para el posicionamiento de la energía nuclear.

Espontáneamente, la población entrevistada manifestó la respuesta socialmente esperada de preocupación por la contaminación en general del medio ambiente: selvas tropicales, océanos, aire, etc.

La población nacional señaló que el aspecto más importante relacionado con la producción de energía eléctrica es que no contamine (41%), seguido del costo (“que sea barata” 32%) y que atienda las necesidades del país (16%). Se aprecia cierta disposición a pagar más por la electricidad consumida en caso de que la producción de ésta cubra los aspectos citados (sí pagaría más 55%, no 41%).²³³

Apoyo político. Existe apoyo en los altos niveles de gobierno para la expansión de la energía nuclear, primariamente para reducir la dependencia al gas natural, pero no existen planes concretos hasta ahora.

Proyección

Opinión pública. El accidente nuclear de Chernobyl en 1986, tuvo un impacto negativo en la opinión pública mexicana y por lo tanto en la realización del proyecto de Laguna Verde, este accidente generó una contracorriente de grupos ecologistas y asociaciones civiles, que basaron su desconfianza en el miedo a un incidente nuclear y al descrédito de la obra pública.

Debates y audiencias públicas. Las asociaciones civiles anti-nucleares de ese entonces forzaron a una reevaluación del programa nuclear, lo cual se tradujo en una serie de debates basados en la legitimidad de las revisiones realizadas por el gobierno y las realizadas por otra instituciones al programa nuclear, esto representó una serie de dimes y diretes entre la sociedad pro-nuclear y la sociedad anti-nuclear y a su consecuente retraso.

Apoyo político. Fue una vez más, una decisión autoritaria del gobierno mexicano, que en ese entonces era dirigido por el Expresidente Miguel de la Madrid Hurtado, la que dio por finalizado el conflicto. Es por esto que cuando se tomó la decisión de seguir adelante con el programa nuclear, la inconformidad social generada no se había debilitado, por lo que la carga de combustible y la posterior puesta en marcha de la Central, se percibieron como una imposición más a la “voluntad popular”, y por ende, Laguna Verde careció desde entonces de aprobación social.

233 Xolocostli Munguía, José Vicente y Otros. Percepción de la Energía Nuclear en México. Simposio LAS/ANS 2007. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2007.

5.4.2 Planeación prospectiva.

Una vez realizado el breve análisis del estado actual que guarda cada indicador, el siguiente paso en la metodología prospectiva adoptada, es el del diseño de los escenarios futuros.

Escenario inercial

Esta extrapolación del futuro responde a la pregunta ¿qué pasaría si no se realizara ningún cambio o esfuerzo adicional en el sector nuclear en México?

No sería sorpresa que en el desarrollo del balance energético nacional, los hidrocarburos siguieran siendo el principal soporte energético. Es posible que se reduzca su porcentaje de aportación al balance energético nacional, sobre la base de aprovechar al máximo todas las fuentes energéticas alternativas con que cuenta el país. Es por esto que de permanecer en el nivel actual las reservas nacionales de hidrocarburos, éstas serán insuficientes dado que deberán soportar la carga principal de la demanda energética nacional, así como el régimen de exportación del petróleo impuesto por el gobierno, además de financiar el gasto público y el desarrollo nacional.

En cuanto a la energía nuclear en México, es posible que cuando más álgida se encuentre la demanda de energía eléctrica, la imposibilidad de satisfacerla debido a la caída en las reservas petroleras y la mala administración de las finanzas públicas, se presente la inminente escasez de energía y los apagones sectorizados; de esta necesidad nacerá la iniciativa de utilizar nuevas fuentes de energía y entre ellas podría llegar a considerarse la energía nuclear, lo que llevará a la compra de algunos reactores nucleares en el futuro.

Escenario Utópico

Este escenario es el extremo de lo deseable, cuenta con estructuras potencialmente diferentes a las actuales, trata de responder a la pregunta ¿qué pasaría si todo sale bien?, es como su nombre lo indica una utopía, es decir a donde se quisiera pero no se podría llegar.

Es necesario, encontrar una alternativa de desarrollo nuclear que permita al país aportar lo más posible a la satisfacción de la demanda de energía eléctrica, creando a la vez una infraestructura humana e industrial capaz de absorber y reproducir la tecnología importada lo más rápidamente posible. Esta alternativa consiste en la compra de plantas nucleares con contratos de transferencia tecnológica, de manera que, conforme el número de plantas aumente, la participación extranjera disminuya y la nacional se incremente hasta alcanzar la autosuficiencia en materia nuclear.

Las empresas norteamericanas que producen reactores nucleares, General Electric, Westinghouse y otras, tienen por política impedir que se reproduzca en otros países su tecnología, tanto el gobierno norteamericano como sus compañías fabricantes de reactores se reservan y ejercen un dominio casi absoluto en el diseño, fabricación y operación de las plantas nucleares que venden; es principalmente debido a esta característica que se descartan los reactores de este tipo de compañías y se escogió la tecnología del reactor ACR-1000 de la compañía AECL.

La política de ventas de los reactores CANDU ofrece a la venta, junto con los reactores nucleares, la tecnología de diseño y fabricación. Aparte de las consideraciones anteriores hay otra característica intrínseca de los reactores CANDU. Por su diseño este tipo de reactores utiliza uranio ligeramente enriquecido y se puede recargar su combustible manteniendo en operación el reactor. Es por estas razones que se ha escogido este tipo de tecnología.

Con este marco de referencia inicial se puede determinar de una manera un poco más precisa la aportación que la energía nuclear debe hacer al balance energético nacional del año 2040. Para incrementar su aportación del 3% al 35% considerado en este escenario. Según la Prospectiva del Sector Eléctrico 2009 – 2024 publicada por la SENER en enero del 2010, se estima un crecimiento promedio anual de 3.6% en la demanda máxima²³⁴, también en este escrito se considera una demanda máxima bruta de 59,766 MW para el año 2024,²³⁵ si se extrapola este dato al año 2040, tenemos que la demanda máxima estimada será de 105,247 MW, si se considera un margen de reserva del 15% como en la prospectiva de la SENER, se tendría una demanda máxima a satisfacer de 121,034 MW.

Ahora si el objetivo en este escenario es el de proporcionar el 35% de esta energía demandada mediante la producción de energía nuclear, se necesitarán proporcionar 42,362 MW por este medio; si a esto le restamos la generación de la CNLV para ese año, que será de 1,638 MW debido a la repotenciación de que será objeto. Se tendrían que producir aún 40.724 MW.

En este escenario, el reactor ACR-1000 de la compañía AECL nos proporciona 1000 MW de capacidad neta, tomando todos estos datos como base se necesitaría construir para el año 2040, 41 reactores nucleares. Tomando en cuenta que el periodo, que transcurre entre la decisión de instalar una planta nuclear hasta su entrada en operación es de 10 años mínimo, las decisiones que se tomen ahora empezarán a surtir efectos hasta 2020. Así, el programa nucleoelectrico propuesto en este escenario implicaría la decisión de instalar desde ahora 41 reactores nucleares a lo largo de 30 años.

234 Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024, SENER 2009, México. Pág. 102.

235 Idem.

Una vez sentadas estas premisas y descritos estos propósitos, los indicadores de nuestro fenómeno se espera se desarrollen de la siguiente manera en los escenarios propuestos.

Desarrollo

Cuadro 22. Escenarios de los indicadores: desarrollo.

Científico y técnico		
Indicadores	Escenario inercial	Escenario utópico
DCT1 Diseños internacionalmente aceptados	La necesidad de instalar una nueva planta nuclear llevará a la licitación del proyecto, y si se sigue el mismo proceso que con Laguna Verde, a la consecuente dependencia extranjera, es posible que de nuevo algunas compañías mexicanas de construcción se encarguen de la obra negra pero serán los proveedores de la tecnología quienes en realidad se encarguen del proyecto, lo que se traducirá de nuevo en contratos leoninos, fuga de divisas y dependencia tecnológica.	Se utiliza el diseño ACR-1000 de la compañía AECL.
DCT2 Construcción en sitios nucleares existentes	De tomarse la decisión de construir alguna otra planta nuclear en México, es muy probable que se decida construir en Laguna Verde, esto debido a la facilidad de seguir usando estos terrenos, por otro lado es posible que se construya en algún otro sitio seleccionado por el ININ y avalado por la CNSNS pero no sin su respectiva resistencia social.	Se han valorado y enumerado cerca de cuarenta sitios idóneos, es decir, se tienen 10 sitios propicios con capacidad para 2 plantas nucleares y 25 sitios con capacidad para 1 planta nuclear.

Económico y legal		
Indicadores	Escenario inercial	Escenario utópico
DEL1 Construir casos de financiamiento basados en varios escenarios de demanda	De no llevarse a cabo ninguna iniciativa, el esquema de generación eléctrica actual seguirá trabajando de la misma manera, tendiendo hacia los esquemas de generación propia por parte de los permisionarios, así como hacia la cogeneración, lo que generará en largo plazo la dependencia en la generación privada de energía eléctrica en nuestro país, dejando a la CFE como mera transportadora y distribuidora de la energía eléctrica.	Se construyeron varios escenarios de demanda y sus respectivos casos de financiamiento.
DEL2 Actualización y fortalecimiento de la infraestructura legal	De no haber una iniciativa por parte del gobierno de reactivar este sector, no existirá la necesidad de modificar la ley sustancialmente, solo se agregarán transitorios y normas específicas, para satisfacer las normas internacionales de los distribuidores y de los organismos de inspección internacionales.	Se realizaron revisiones y reformas a la legislación nuclear actual y se implantaron nuevas normas de carácter nuclear.

Continuación...

Económico y legal		
Indicadores	Indicadores	Indicadores
DEL3	Actualización y fortalecimiento del cuerpo regulador	De igual forma de continuar en este estado todo el aparato regulador nacional seguirá tratando de vincularse cada vez más con la OIEA, esto debido a la necesidad de estar al día en las tecnologías de protección y seguridad en el ámbito nuclear, como medida de prevención de algún desastre nacional de índole nuclear.
		Existen programas de respaldo a la CNSNS en cuanto a conocimiento y experiencia, y hay un gran número de programas y redes de asistencia para desarrollar recursos humanos, con la agencia reguladora del país proveedor, complementado por la OIEA y otras organizaciones internacionales.

Construcción

Cuadro 23. Escenarios de los indicadores: construcción.

Científico y técnico		
Indicadores	Escenario inercial	Escenario utópico
CCT1	Desarrollo de arreglos contractuales para los actores involucrados	Es de esperarse que en la necesidad de sortear el reto de otra planta nuclear, y de compensar la falta de una infraestructura adecuada y de experiencia en la operación, la CFE solicitará contratos con los actores involucrados, e el tema solamente de entrega al término del proyecto, con lo cual se crearía una dependencia al personal calificado extranjero, con los peligros y precios consecuentes de esta dependencia.
		Existe un número considerable de arreglos contractuales entre el vendedor, los contratistas IPC, la SENER y la CFE, en lo referente a fechas de entrega, transferencia de tecnología y respaldo tecnológico.
CCT2	Reclutamiento	Se puede inferir que de proseguir en este estado la plantilla del personal capacitado ira disminuyendo debido al menor número de estudiantes interesados, a la mayor edad media del profesorado, al envejecimiento de las instalaciones experimentales que se cierran y no se reemplazan o simplemente a la falta de ellas, y de expertos jóvenes que sustituyan a los de mayor edad en la industria nuclear.
		Se realizaron múltiples conferencias y campañas de promoción del programa nuclear.

Continuación...

Científico y técnico			
Indicadores	Escenario inercial	Escenario utópico	
CCT3	Recursos humanos y entrenamiento	Debido a que en nuestro país no se desarrolló una industria nuclear competente cuando se adquirió la tecnología nuclear, es decir, se adquirió para su uso inmediato y no para su desarrollo, en caso de que en nuestro país se prosiga con la misma política, el personal capacitado irá disminuyendo y las instalaciones nucleares llegarán al final de su vida útil.	Existen varios programas de respaldo y entrenamiento especializado al personal de la CFE en cuanto a conocimiento y experiencia por parte del proveedor.
CCT4	Inversión en transporte e infraestructura cerca del sitio	Este indicador se mantendrá sin cambio alguno, ya que de instalar una nueva planta nuclear, se realizará en el mismo sitio que su predecesora.	La inversión en transporte e infraestructura civil y eléctrica, cerca de los sitios nucleares fue cuantiosa pero bien administrada debido a que se hizo mucho con la inversión comprometida.
CCT5	Sólida administración del programa	Este indicador se mantendrá sin cambio alguno.	El personal de administración contratado aprobó varias evaluaciones realizadas.
CCT6	Experiencia de construcción previa	Este indicador no se desarrollará en este escenario.	Los contratos realizados entre el comprador y la empresa proveedora de la tecnología, en lo que se refiere a transferencia de tecnología, así como la documentación de los proyectos realizados con anterioridad redujeron el porcentaje de participación extranjera a 0.
CCT7	Colaboración para la identificación de necesidades futuras, capacidades tecnológicas y asimilación de la tecnología	Es de esperarse que de presentarse la ocasión de instalar alguna otra planta nuclear, se compre al extranjero sin ningún acuerdo de transferencia de tecnología, por lo que este indicador se mantendrá sin ningún cambio.	Los contratos celebrados y programas emprendidos lograron la asimilación de la de tecnología adquirida.

Económico y legal			
Indicadores	Escenario inercial	Escenario utópico	
CEL1	Apegarse a diseños estandarizados	La posible licitación de un nuevo proyecto nuclear, posibilita el desarrollo de este indicador, por lo que se espera que en la compra algún nuevo reactor se siga un diseño estandarizado, lo que se traducirá en un ahorro para la empresa encargada del proyecto.	Se generó un ahorro en tiempo y dinero considerable con la utilización de estos diseños.

Operación

Cuadro 24. Escenarios de los indicadores: operación.

Científico y técnico			
Indicadores	Escenario inercial	Escenario utópico	
OCT1	Participación en la NEA, OIEA, WANO, INPO, etc.	De proseguir con esta actitud, México formará parte de organismos como la WANO e INPO, así como en la OIEA, pero seguirá siendo un mero espectador en estos organismos, limitándose a atender recomendaciones en lugar de proponerlas.	Se participa activamente en varios programas relacionados con estos organismos.
OCT2	Inversión en nuevas instalaciones de combustible nuclear	De no iniciarse un programa nuclear, se comprará el combustible en el extranjero, se pagará por su enriquecimiento en instalaciones en otros países, y se seguirá pagando por su fabricación a compañías extranjeras, esto hasta el final de la vida útil de los reactores de Laguna Verde o antes si la compañía que presta este servicio entra en bancarrota o decide suprimir el tipo de tecnología que utilizan los reactores.	Nuestro país realizó las inversiones necesarias para revivir la industria del uranio.
OCT3	Invertir continuamente en el mantenimiento y mejoramiento de las plantas	Debido a que ya se ha invertido en este rubro en la CNLV es de esperarse que solamente se invierta en el mantenimiento de ésta planta.	La Inversión destinada a la actualización y mantenimiento preventivo de las nuevas instalaciones nucleares permitió el alargamiento de su vida útil.

Económico y legal			
Indicadores	Escenario inercial	Escenario utópico	
OEL1	Desarrollar buenos contratos de combustible	Este indicador se mantendrá sin cambio alguno, ya que se seguirá utilizando el mercado de combustible nuclear.	Nuestro país utilizó en el comienzo del programa nuclear el mercado de suministro de combustible, pero a medida que avanzaba dicho programa, nuestro país revivió su industria uranífera y ahora es independiente.
OEL2	Internalización de los costos de desecho del CO ₂	Este indicador se mantendrá sin cambio alguno, ya que sólo se promoverá la cultura del ahorro y la disminución, pero nunca se penalizará enérgicamente debido a la dependencia actual y por el poder económico, político y social que se les atribuye.	El impuesto o penalización aplicada a la emisión de CO ₂ en la generación de energía eléctrica contribuyó a aumentar la competitividad económica de la energía nuclear, así como el de las energías no fósiles.

Desmantelamiento

Cuadro 25. Escenarios de los indicadores: desmantelamiento.

Científico y técnico			
Indicadores		Escenario inercial	Escenario utópico
DMCT1	Decidir una estrategia de desmantelamiento tan temprano como sea posible	La estrategia de desmantelamiento más probable para Laguna Verde será la clausura del sitio por un período de tiempo hasta su conversión en un sitio de almacenamiento de residuos nucleares.	Las estrategias y planes considerados para el desmantelamiento de las nuevas plantas ya han sido establecidas considerando todas las recomendaciones de la OIEA.
DMCT2	Desarrollo de alternativas para el manejo de los residuos radioactivos de alta actividad	Las estrategias a seguir en cuanto a los residuos será en primera instancia el redimensionamiento de las albercas de Laguna Verde, y en el largo plazo su almacenamiento en el nuevo sitio destinado para este propósito.	Se han localizado cierto número de posibles emplazamientos geológicos adecuados y se han evaluado sus condiciones.
Económico y legal			
Indicadores		Escenario inercial	Escenario utópico
DMEL7	Contribuir a la buena definición del fondo según se requiera	Este indicador no se desarrollará en este escenario.	Aparte del fondo de desmantelamiento se agregó un costo de desmantelamiento temprano al costo de capital de la planta.

Cultural, social y político

Cuadro 26. Escenarios de los indicadores: Cultural, social y político.

Cultural, social y político			
Indicadores		Escenario inercial	Escenario utópico
CSP1	Debates públicos y audiencias	La desinformación generará que los principales argumentos utilizados en la realización de algún nuevo proyecto nuclear sean el beneficio directo sobre la comunidad implicada con el propósito exclusivo de justificar sus acciones.	Se llevaron a cabo una serie de debates y conferencias de consenso realizados entre el público, los expertos y el gobierno, antes de tomar la decisión de reintroducir el nuevo programa nuclear.
CSP2	Aceptación pública de las tecnologías y sistemas de almacenamiento de residuos nucleares	De proseguir en el camino de desinformación, nunca se logrará la aceptación pública de esta tecnología.	Se invirtió en campañas de información adecuada, primero a la población implicada, así como a la población en general; la inversión en medios de difusión masiva fue adecuada y multimediática.

Continuación...

Indicadores		Escenario inercial	Escenario utópico
CSP3	Obtener un pacto de apoyo político	Este indicador sólo se desarrollará en este escenario si se presenta una situación de carestía energética, imponiendo la decisión gubernamental ante la desaprobación pública.	Se realizaron varios programas de provisión de información a los actores involucrados, resaltando las ventajas de la utilización de la energía nuclear.
CSP4	Enfatizar las ventajas medioambientales de la energía nuclear	Este indicador no se desarrollará, ya que la necesidad será el motor de la penetración de esta tecnología en este escenario.	Se realizaron varias campañas de información al público, así como a los actores políticos involucrados, resaltando los beneficios ambientales de la energía nuclear respecto a la generación por medio de energías fósiles.

Futurible

Un proyecto nucleoelectrico tendiente a instalar 41 reactores nucleares de 1000 MWe en 30 años es realmente ambicioso para cualquier país. Más ambicioso aún si se pretende seguir un proceso paralelo para absorber y reproducir la tecnología nuclear y para conformar una infraestructura industrial capaz de producir en un mínimo de tiempo la mayor parte de los componentes de los reactores nucleares.

Con las condiciones actuales de infraestructura humana, tecnológica e industrial en materia nuclear, un proyecto tan ambicioso como ése sería irrealizable. Pero no queda otra alternativa. Si este país no quiere encontrarse, en unas cuantas décadas, ante la asfixia económica provocada por la carencia de energéticos para impulsar su desarrollo, si quiere evitar el aumento de un elemento más a su dependencia del exterior, deberá hacer un esfuerzo máximo para asegurarse en un futuro cercano de la posibilidad de explotar una fuente de alta concentración energética como es el uranio.

Es por esto que el escenario futurible debe definirse a partir del escenario utópico propuesto, debe de ser lo más cercano a lo deseable y superior a lo posible, pero mejor aún debe ser factible su realización si se desarrollan de manera concertada toda una serie de acciones sugeridas y esperadas. Este futuro deseable y posible no puede verse restringido por el pasado y el presente conocidos, a continuación se delinearán toda una serie de eventos, los cuales deben acercarnos lo más posible al escenario futurible.

Este escenario consiste en la compra de plantas nucleares con contratos de transferencia tecnológica, de manera que, conforme el número de plantas aumente, la participación extranjera disminuya y la nacional se incremente hasta alcanzar la autosuficiencia en materia nuclear.

Un proyecto nucleoelectrico accesible, aun sin dejar de ser ambicioso, consistiría en incrementar el porcentaje de participación de la energía nuclear a medida que se incremente la demanda de energía eléctrica, por decirlo así, implementar un seguidor de la demanda de energía eléctrica, que sirva para determinar el porcentaje de participación necesario para la energía nuclear.

Una vez definidas estas premisas se define el escenario futuro.

Desarrollo

Cuadro 27. Escenario Futuro: desarrollo.

Científico y técnico		
Indicadores		Futuro
DCT1	Diseños internacionalmente aceptados	Se decide utilizar el diseño ACR-1000 de la compañía AECL después de comprobar su viabilidad.
DCT2	Construcción en sitios nucleares existentes	Se han valorado y enumerado cerca de 10 sitios idóneos, es decir, se tienen 10 sitios propicios con capacidad para 2 plantas nucleares.

Económico y legal		
Indicadores		Futuro
DEL1	Construir casos de financiamiento basados en varios escenarios de demanda	Se sigue a la demanda y los respectivos casos de financiamiento son construidos.
DEL2	Actualización y fortalecimiento de la infraestructura legal	Se realizaron revisiones y reformas a la legislación nuclear actual.
DEL3	Actualización y fortalecimiento del cuerpo regulador	Existen programas de respaldo a la CNSNS en cuanto a conocimiento y experiencia, y existen programas y redes de asistencia para desarrollar recursos humanos, con la agencia reguladora del país proveedor en este caso la canadiense, complementado por las recomendaciones de la OIEA y otras organizaciones internacionales.

Construcción

Cuadro 28. Escenario Futuro: construcción.

Científico y técnico		
Indicadores		Futuro
CCT1	Desarrollo de arreglos contractuales para los actores involucrados	Existen arreglos contractuales entre el vendedor, los contratistas IPC, la SENER y la CFE, en lo referente a fechas de entrega, transferencia de tecnología y respaldo tecnológico.
CCT2	Reclutamiento	Se realizaron múltiples conferencias y campañas de promoción del programa nuclear.
CCT3	Recursos humanos y entrenamiento	Existen varios programas de respaldo y entrenamiento especializado al personal operador de la CFE en cuanto a conocimiento y experiencia por parte del proveedor.

Continuación...

Indicadores		Futurible
CCT4	Inversión en transporte e infraestructura cerca del sitio	La inversión en transporte e infraestructura civil y eléctrica, cerca de los sitios nucleares necesarios fue bien administrada.
CCT5	Sólida administración del programa	El personal de administración contratado aprobó varias evaluaciones realizadas por el personal a cargo del entrenamiento.
CCT6	Experiencia de construcción previa	Los contratos realizados entre la SENER, la CFE y la empresa proveedora de la tecnología, en lo que se refiere a transferencia de tecnología, así como la documentación de los proyectos realizados con anterioridad redujeron el porcentaje de participación extranjera.
CCT7	Colaboración para la identificación de necesidades futuras, capacidades tecnológicas y asimilación de la tecnología	Los contratos celebrados y programas emprendidos lograron la asimilación de la de tecnología adquirida.

Económico y legal

Indicadores		Futurible
CEL1	Apegarse a diseños estandarizados	Se generó un ahorro en tiempo y dinero con la utilización de estos diseños.

Operación

Cuadro 29. Escenario Futurible: operación.

Científico y técnico		
Indicadores		Futurible
OCT1	Participación en la NEA, OIEA, WANO, INPO, etc.	Se participa activamente en varios programas relacionados con estos organismos.
OCT2	Inversión en nuevas instalaciones de combustible nuclear	Nuestro país realizó las inversiones necesarias para revivir la industria del uranio.
OCT3	Invertir continuamente en el mantenimiento y mejoramiento de las plantas	La inversión destinada a la actualización y mantenimiento preventivo permitió el alargamiento de la vida útil de las plantas.
Económico y legal		
Indicadores		Futurible
OEL1	Desarrollar buenos contratos de combustible	Nuestro país utilizó en el comienzo del programa nuclear el mercado de suministro de combustible, pero a medida que avanzaba dicho programa, nuestro país revivió su industria uranífera y ahora es independiente.
OEL2	Internalización de los costos de desecho del CO ₂	El impuesto o penalización aplicada a la emisión de CO ₂ en la generación de energía eléctrica contribuyó a aumentar la competitividad económica de la energía nuclear, así como la de las energías no fósiles.

Desmantelamiento

Cuadro 30. Escenario Futurible: desmantelamiento.

Científico y técnico		
Indicadores		Futurible
DMCT1	Decidir una estrategia de desmantelamiento tan temprano como sea posible	Las estrategias y planes considerados para el desmantelamiento de las nuevas plantas ya han sido establecidas considerando todas las recomendaciones de la OIEA.
DMCT2	Desarrollo de alternativas para el manejo de los residuos radioactivos de alta actividad	Se ha localizado un posible emplazamiento geológico adecuado y se han evaluado sus condiciones.
Económico y legal		
Indicadores		Futurible
DMEL7	Contribuir a la buena definición del fondo según se requiera	Se estableció un fondo para el desmantelamiento de la planta.

Cultural, social y político

Cuadro 31. Escenario Futurible de los indicadores: Cultural, social y político.

Cultural, social y político		
Indicadores		Futurible
CSP1	Debates públicos y audiencias	Se llevaron a cabo una serie de debates y conferencias de consenso realizados entre el público, los expertos y el gobierno, antes de tomar la decisión de reintroducir el nuevo programa nuclear.
CSP2	Aceptación pública de las tecnologías y sistemas de almacenamiento de residuos nucleares	Se invirtió en campañas de información adecuada, a la población implicada, así como a la población en general; la inversión en medios de difusión masiva fue adecuada y multimediativa.
CSP3	Obtener un pacto de apoyo político	Se realizaron varios programas de provisión de información a los actores involucrados, resaltando las ventajas de la utilización de la energía nuclear.
CSP4	Enfatizar las ventajas medioambientales de la energía nuclear	Se realizaron varias campañas de información al público resaltando los beneficios ambientales de la energía nuclear respecto a la generación por medio de energías fósiles.

5.4.3 Planeación estratégica.

El siguiente paso en este desarrollo es el de la definición de la planeación estratégica, delimitando escenarios estratégicos, acciones estratégicas y los requerimientos necesarios para la implementación de la estrategia a seguir. Es así que en el siguiente inciso se definen los escenarios estratégicos.

Escenarios Estratégicos

El inicio del PREN involucra bastantes actividades complejas e interrelacionadas de larga duración. En la publicación del 2007 de la OIEA “*Considerations to Launch a Nuclear Power Program*”, se menciona que el tiempo entre que una política inicial por el estado es considerada para utilizar a la energía nuclear hasta el inicio de operaciones de la primera planta nuclear producto de la puesta en marcha de ese programa, es de alrededor de 10 a 15 años. Este periodo consiste de tres grandes fases.

- a) Consideraciones previas a que la decisión de lanzar el programa de energía nuclear es tomada;
- b) Preparativos para la construcción después de que una política ha sido tomada; y
- c) Actividades para implementar el programa nuclear.

Para un estado en que ya se ha introducido un primer programa de energía nuclear como México, en el mejor de los casos este rango puede reducirse hasta 10 años, en caso de tratarse de un estado con una base técnica fuerte, pero desgraciadamente México no puede jactarse de poseer dicha característica. Es por esto que se proponen los siguientes escenarios estratégicos, Hasta 2015, 2016-2025, 2026-2040, mas allá del 2040.

Utilizando los escenarios estratégicos, a continuación se presenta un cuadro en el que se define en que horizonte se planea lograr alcanzar el estado requerido de cada indicador en el escenario futurible, es por así decirlo nuestra fecha límite.

Cuadro 32. Escenarios estratégicos.

	Hasta 2015	2016-2025	2026-2040	mas allá del 2040
Desarrollo		DCT1, DCT2, DEL2 DEL1, DEL3		
Construcción		CCT1, CCT2, CCT4 CCT3	CCT5, CCT6, CCT7	
Operación		OCT1, OEL1, OEL2	CEL1 OCT2, OCT3	
Desmantelamiento			DMEL7	DMCT1, DMCT2
Cultural, social y político	CSP1, CSP2, CSP3, CSP4	CSP2		

Acciones Estratégicas

A continuación se proponen una serie de acciones estratégicas que tienen el propósito de explicar por dónde, cuándo y con qué conviene ir, Son propuestas de esfuerzos sistemáticos para establecer y concretar el escenario futurible.

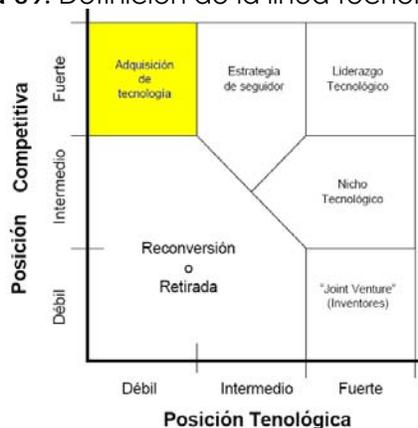
Cuadro 33. Acciones estratégicas.

Estrategias FO	
1	Adquisición de la aprobación pública y apoyo político para la utilización de la energía nuclear y las tecnologías y sistemas de almacenamiento de residuos nucleares.
2	Actualización y fortalecimiento del marco legal.
3	Mantenimiento del cuerpo regulador y desarrollo de un sistema de licenciamiento y verificación que supervise de acuerdo a los estándares de protección y seguridad de la OIEA.
4	Provisión de un adecuado respaldo tecnológico, transferencia de la tecnología y adquisición de recursos humanos competentes para la administración de todos los aspectos del programa nuclear.
Estrategias DA	
5	Desarrollar un programa que cumpla con todos los aspectos técnicos relacionados con el Programa de Reintroducción de la Energía Nuclear (PREN).
6	Provisión de seguridad en el suministro de combustible.
7	Aplicación de instrumentos económicos y directivas para aumentar la competitividad económica de la energía nuclear.

5.5 Definición de líneas tecnológicas.

La definición de las líneas tecnológicas se hacen en función de dos variables: la posición competitiva y la posición tecnológica de la organización, considerando las características descritas a lo largo de este capítulo en lo que respecta a las capacidades de la CFE a lo largo de su historia con la energía nuclear, puede observarse que la CFE posee una posición competitiva fuerte y una posición tecnológica débil, lo que la coloca en el quinto segmento de las líneas tecnológicas mencionadas en el capítulo anterior, denominado *Adquisición de tecnología*.

Figura 59. Definición de la línea tecnológica.



En este segmento la organización, es decir, la CFE se deslinda casi por completo de la investigación y desarrollo de tecnología. Adquiere los insumos tecnológicos, o cuando más, patentes y licencias y es exclusivamente usuario de las mismas; se dedica principalmente a proporcionar servicios. Esta estrategia implica una fuerte posición competitiva pero, al no participar en los procesos de investigación y desarrollo no posee posición tecnológica; en consecuencia tiene una dependencia absoluta ya sea de los seguidores o de los líderes tecnológicos.

5.6 Definición del grado de dependencia tecnológica.

La definición del grado de dependencia tecnológica se hace a partir de la línea tecnológica en que se encuentra la organización, es por esto que el grado de dependencia tecnológica de la CFE se define como una *Dependencia completa*; ya que en el caso de la tecnología CANDU, se desconoce el producto y el proceso y las decisiones están en manos del proveedor de la tecnología.

5.7 Proceso de asimilación tecnológica.

No existe una receta para lograr la asimilación de la tecnología. No obstante, se debe definir en dónde se está y a dónde se quiere llegar en materia tecnológica. Para crear una industria dedicada al desarrollo de la energía nuclear, aumentando empleos y desarrollo tecnológico, a grandes rasgos se deben realizar las siguientes acciones:

- Detectar la tecnología disponible en el mercado que pudiera resultar la apropiada de acuerdo a las necesidades nacionales, una vez comprobada su viabilidad financiera y técnica, en este caso se decide utilizar la tecnología del reactor ACR-1000.
- Establecer convenio con el fabricante para incluir personal que inicie el proceso de asimilación.
- Establecer convenios con las Instituciones de Educación Superior dando prioridad a los procesos de vinculación para establecer mecanismos permanentes de Investigación y Desarrollo (I+D).
- Iniciar el proceso de asimilación de acuerdo a los tiempos establecidos desde la dependencia hasta la autosuficiencia, aproximadamente 30 años.
- Crear una industria nacional dedicada al desarrollo de la energía nuclear.
- Mantener procesos y productos en constante optimización para lograr la autosuficiencia.

A continuación se definen los grados de asimilación tecnológica de acuerdo a un tiempo establecido, desde la dependencia hasta la autosuficiencia, aproximadamente 30 años.

Cuadro 34. Grados de asimilación tecnológica.

Grado de asimilación	Definición	Propuesta
Dependencia completa (5 años)	Se desconoce el producto y el proceso. Las decisiones están en manos del propietario de la tecnología.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adquisición de la aprobación pública y apoyo gubernamental. 2. Firma de contratos por parte de la CFE para asimilar la tecnología, es decir, cláusulas contractuales en donde CFE se comprometa a comprar cierta cantidad de maquinaria (tecnología) al proveedor, a cambio de que dicha empresa capacite a personal mexicana para el mantenimiento de dicha maquinaria. 3. Documentación de los proyectos realizados.
Dependencia relativa (5 años)	Hay experiencia en producir el producto. Las decisiones locales se limitan a nivel de pregunta o sugerencia con base en criterios propios. No se conoce la flexibilidad del proceso.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollo de arreglos contractuales entre la CFE y los contratistas IPC, así como con los proveedores de la tecnología, basándose en un sistema de incentivos y penalizaciones. 2. Proyectar el diseño y fabricación de los primeros reactores apoyándose en el personal capacitado anteriormente por la compañía nucleoelectrónica extranjera.
Creatividad incipiente (5 años)	Se inician adaptaciones y sustituciones en materias primas, diseño y especificaciones mínimas adecuadas. Cualquier modificación requiere de la participación del licenciador.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenimiento y fortalecimiento de las capacidades tecnológicas y de los servicios de apoyo necesarios para la potenciación de la energía nuclear. 2. Monitoreo de reservas de combustible nuclear. 3. La industria nuclear mexicana hará adaptaciones y mejoras propias.
No dependencia (5 años)	Se empieza a capitalizar el cambio menor. La mejora evolutiva y la curva del aprendizaje, basándose en la operación de la misma planta.	<ol style="list-style-type: none"> 1. La industria nuclear mexicana comenzará a ser independiente tecnológica y financieramente, por lo que terminará contratos (o no los renovará) con industrias nucleares extranjeras. 2. Las importaciones de insumos y maquinaria para la fabricación de reactores, se reducirá paulatinamente hasta llegar a tener una industria nuclear autosuficiente. 3. Se participará activamente en organismos internacionales relacionados con la generación de energía nuclear. 4. Se invertirá en nuevas instalaciones relacionadas con el ciclo de combustible nuclear.
Autosuficiencia (5 años)	Se generan productos y procesos nuevos por extrapolación. Se puede competir con el licenciario en nuestro mercado, sin necesidad de protección contra las importaciones. No hay dependencia de un solo proveedor de materia prima, equipo, refacciones o servicio.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Crear o afiliar empresas mexicanas para proveer de materias primas, refacciones o de diversos elementos que conforman una planta de energía nuclear, teniendo varios proveedores, creando empleos e incentivando el desarrollo social del país. 2. Se es autosuficiente en cuanto a reservas de combustible.

5.8 Elaboración de la estrategia.

Estrategia 1	Adquisición de la aprobación pública y apoyo político para la utilización de la energía nuclear y las tecnologías y sistemas de almacenamiento de residuos nucleares.		
Programa de adquisición de la aprobación pública y obtención de apoyo político			
Objetivos:	Participación de la sociedad	Realización de debates antes de tomar la decisión de reintroducir un nuevo plan nuclear. Celebración de conferencias de consenso entre público, expertos y gobierno.	
	Provisión de información	Público	Utilización de los medios de difusión masivos: Spot televisivos, periódico, radio, Internet, etc.... Realización de consultas públicas, que involucren a comunidades locales, líderes, políticos, organizaciones no gubernamentales y otras asociaciones civiles.
		Apoyo político	Se realizaron varios programas provisión de información a los actores involucrados, resaltando las ventajas de la utilización de la energía nuclear.
Estrategia 2	Actualización y fortalecimiento del marco legal		
Programa de actualización legal			
Objetivos:	Actualización y fortalecimiento de la infraestructura legal	Legislación	Realización de revisiones a la legislación nuclear actual
			Realización de reformas a la legislación nuclear actual
Estrategia 3	Mantenimiento del cuerpo regulador y desarrollo de un sistema de licenciamiento y verificación que supervise de acuerdo a los estándares de protección y seguridad de la OIEA		
Programa de actualización y fortalecimiento del cuerpo regulador			
Objetivos:	Recursos humanos y entrenamiento	Instauración del programa de respaldo tecnológico para la CNSNS.	
		Implementación de redes de asistencia para la CNSNS encaminadas a desarrollar recursos humanos.	
	Aspectos Reguladores	Realización de arreglos y planes efectivos para asegurar que las funciones reguladoras y las responsabilidades relacionadas se encuentran apropiadamente identificadas, descargadas y coordinadas.	
		Instauración y actualización de las normas para el proceso de autorización del establecimiento, diseño, operación y procesos de descarga al ambiente.	
		Instauración y actualización de las normas de revisión y seguridad de las instalaciones a lo largo de su vida.	

Estrategia 4	Provisión de un adecuado respaldo tecnológico y de transferencia de la tecnología y adquisición de recursos humanos competentes para la administración de todos los aspectos del programa nuclear		
Programa de Independencia tecnológica y gestión del conocimiento			
Objetivos:	Mantenimiento y fortalecimiento de las capacidades tecnológicas y de los servicios de apoyo necesarios para la potenciación de la energía nuclear	Reclutamiento	Celebración de conferencias y realización de campañas de promoción para que los jóvenes reciban mejor información sobre las oportunidades en la formación y especialización en el estudio de todos los ámbitos relacionados a la energía nuclear.
		Recursos humanos y entrenamiento	Desarrollo del programa de respaldo tecnológico para la CFE en cuanto a conocimiento y experiencia.
			Desarrollo del programa de entrenamiento especializado al personal de la CFE por parte del proveedor de la tecnología.
	Mantenimiento y fortalecimiento de las capacidades formativas y creación de las infraestructuras investigadoras necesarias para la potenciación de la energía nuclear	Colaboración para la identificación de necesidades futuras y capacidades tecnológicas	Creación de redes de colaboración entre la industria, el gobierno y universidades y escuelas técnicas especializadas en la energía nuclear.
		Asimilación de la tecnología	Desarrollo gradual de proveedores locales.
			Instauración de acuerdos de transferencia de tecnología como parte del contrato con el proveedor.
Desarrollo del programa académico nacional para la educación e investigación técnica y científica donde se aproveche la experiencia del personal que se retira.			
		Establecer un convenio con el proveedor de la tecnología para incluir personal que inicie el proceso de asimilación y evalúe al personal contratado para la administración del programa.	
		Documentación de los proyectos realizados.	
		Participación activa en organismos internacionales relacionados con la generación de energía nuclear.	

Estrategia 5	Provisión de seguridad en el suministro de combustible		
Programa de reavivamiento de la industria uranífera nacional			
Objetivos:	Contratos de combustible	Utilización del mercado mundial de combustible nuclear.	
		Monitoreo de reservas de combustible nuclear.	
	Desarrollo de la infraestructura	Inversión en nuevas instalaciones relacionadas con el ciclo de combustible nuclear.	

Estrategia 6	Aplicación de instrumentos económicos y directivas para aumentar la competitividad económica de la energía nuclear	
---------------------	---	--

Programa de competitividad económica de la energía nuclear		
Objetivos:	Internalización de los costos de desecho del CO ₂	Mecanismo de penalización a las emisiones de CO ₂ .
	Incremento del tiempo de operación	Instauración de normas que establezcan una estrategia de actuación a largo plazo, contemplando el desarrollo de estándares regulatorios, su ámbito de aplicación y los plazos temporales necesarios. Monitoreo y calendarización de programas para el mantenimiento y renovación de las instalaciones nucleares.
	Ahorro	Utilización de diseños estandarizados de reactores nucleares.

Estrategia 7	Desarrollar un programa que cumpla con todos los aspectos técnicos relacionados con el PREN	
---------------------	--	--

Programa de generación de energía nuclear		
Objetivos:	Desarrollo	Valoración de sitios propicios para la construcción de nuevas centrales nucleares.
	Construcción y operación	Desarrollo de arreglos contractuales entre la CFE y los contratistas IPC, así como con los proveedores de la tecnología, basándose en un sistema de incentivos y penalizaciones.
		Inversión en infraestructura civil y eléctrica, cercana al sitio en donde se encontrarán las nuevas instalaciones nucleares.
	Desmantelamiento	Construcción y explotación comercial de un reactor ACR-1000 de la compañía AECL, una vez probada su viabilidad técnica y económica
		Desarrollo del programa de estandarización para el desmantelamiento de las instalaciones nucleares Desarrollo del programa de ubicación de depósitos de almacenamiento de residuos radioactivos.

5.9 Puesta en marcha.

El estudio de prospectiva realizado analiza el papel de la energía nuclear como una opción existente para cubrir las futuras necesidades de energía, que debe evaluarse junto con las restantes opciones existentes, en función de criterios sobre capacidad de generación, costes, seguridad, eficiencia y efectos ambientales.

A corto plazo se configura un escenario en el que es necesario mejorar las redes de comunicación entre los técnicos del sector, el público y los responsables de la toma de decisiones para superar la mala percepción y el desconocimiento existente sobre la energía nuclear, mediante actividades que informen sobre sus ventajas e inconvenientes respecto a otras tecnologías disponibles. La implantación de medidas económicas que permitan internalizar todos los costos cuantificables asociados a la generación de electricidad, incluyendo posibles beneficios externos, influirá de manera muy importante sobre cual será la contribución de la energía nuclear a la producción de electricidad en los próximos 20 años.

La situación actual requiere abrir un debate sobre el futuro energético en el ámbito nacional buscando un consenso entre los partidos políticos, expertos en energía y la sociedad para garantizar que todos los implicados conozcan el alcance de las decisiones que es necesario tomar y su justificación. El debate debe analizar la contribución de las energías renovables para cubrir la demanda esperada, el papel de las medidas de eficiencia energética, la necesidad de seguir utilizando los combustibles fósiles y cómo utilizar la energía nuclear, junto con los problemas y soluciones asociados a su utilización.

La puesta en marcha de este estudio prospectivo, es el último paso en el proceso simplificado de una prospectiva estratégica, y también es la materialización de todo este estudio. Es por esto que obviamente se requiere de la participación de los actores involucrados mencionados anteriormente como la CFE, SENER etc... para implantar éstas estrategias propuestas, debido a los alcances de este estudio solo se presentan una serie de recomendaciones para la implementación de estas estrategias a continuación:

La implantación de la estrategia anteriormente propuesta, es un proceso básicamente administrativo interno, mientras que la creación de la estrategia es principalmente una actividad empresarial, por lo que, para implantar con éxito una estrategia se debe trabajar en un ambiente bien organizado y motivar al personal, para así desarrollar una cultura y ajustes entre la estrategia y el modo de operar de la organización.

La implantación de la estrategia implica convertir el plan estratégico en acciones y después en resultados. La implantación tiene éxito si la compañía logra sus objetivos estratégicos y los niveles planeados de rendimiento financiero.

Lo que contribuye a que este proceso sea tan exigente es la extensa gama de actividades gerenciales que hay que atender, las muchas maneras por medio de las cuales pueden los directivos abordar cada actividad, la habilidad que se necesita para que se lance una variedad de iniciativas y éstas funcionen, y la renuencia al cambio que se tiene que superar.

Cada situación de implantación de la estrategia es tan especial que requiere su propio programa de acciones específico. La estrategia se debe implantar de manera que se ajuste a la situación de la organización. Los directivos deben considerar la naturaleza de la estrategia así como la cantidad de cambio estratégico que se necesita (cambiar hacia una nueva estrategia audaz presenta más problema de implantación que hacer pequeños cambios en la estrategia existente).

Los detalles de la implantación de la estrategia son específicos de cada situación, pero se tienen que cubrir ciertas bases administrativas sin importar cuál sea la situación de la organización. Dependiendo de las circunstancias de la organización, algunas de estas tareas serán más importantes y tomarán más tiempo que otras. Para diseñar un programa de acciones, los directivos tienen que determinar cuáles son las condiciones internas necesarias para ejecutar con éxito la estrategia y después crear estas condiciones tan rápidamente como resulte práctico.

La clave de la implantación exitosa es la unión de toda la organización apoyando la estrategia y la seguridad de que todas las actividades y tareas administrativas importantes se hagan de manera tal que cumplan con los requisitos para la ejecución de una estrategia de primer orden y que junto con el entusiasmo y el compromiso estratégico, se tenga un esfuerzo gerencial para crear una serie de “ajustes” que apoyen la estrategia. La estructura interna de la organización debe ajustarse a la estrategia. Se deben desarrollar las habilidades y capacidades necesarias en la organización. La asignación de presupuestos y de recursos debe apoyar la estrategia, y se debe proporcionar personal y presupuesto a los departamentos para que efectúen sus funciones estratégicas asignadas. La estructura de recompensas, las políticas, el sistema de información y las prácticas operativas de la compañía necesitan reforzar el impulso para ejecutar con efectividad una estrategia, en contraposición a tener un papel pasivo o, peor aún, a actuar como obstáculo.

Igualmente importante es el hecho de que los gerentes deben hacer las cosas de tal manera y estilo que se cree y fomente un ambiente de trabajo que apoye la estrategia y una cultura corporativa. Cuanto más fuerte sean los ajustes en apoyo de la estrategia que se creen a nivel interno, mayores serán las oportunidades de lograr una implantación con éxito.

La implantación de la estrategia incluye a todas las unidades de la organización, desde la oficina principal hasta cada departamento operativo, los cuales deben preguntarse. “¿Qué debemos hacer para contribuir con nuestra parte del plan estratégico y cuál es la mejor manera de hacerlo?”

Otro de los factores determinantes en la implantación exitosa de la estrategia es la eficiencia con la cual la gerencia dirija el proceso. Los implantadores pueden ejercer el liderazgo de diversas maneras. Pueden tener un papel activo y visible u otro velado y moderado. Pueden tomar decisiones de manera autoritaria o sobre la base del consenso, delegar mucho o poco, involucrarse personalmente en los detalles o permanecer atrás de la barrera y capacitar a otros, proceder con rapidez (lanzando iniciativas de implantación en muchos frentes) o pausadamente (trabajando para obtener un avance gradual a largo plazo).

La manera como los directivos dirigen la tarea de implantación tiende a estar en función de: (1) su experiencia y conocimiento acumulado de la empresa; (2) si son nuevos en el trabajo o titulares desde hace tiempo; (3) su red de relaciones personales en la organización; (4) sus propias capacidades de diagnóstico, administrativas, interpersonales y de solución de problemas; (5) la autoridad que se les ha otorgado; (6) el estilo de liderazgo con el que se sienten cómodos; y (7) sus puntos de vista con respecto al papel que deben desempeñar para que se hagan las cosas.

Un factor que altera el enfoque de un directivo frente a la implantación de la estrategia es el contexto de la situación de la organización: la gravedad de las dificultades estratégicas de la compañía, la naturaleza y magnitud del cambio estratégico necesario, el tipo de estrategia que se está implantando, la fuerza de cualquier conducta arraigada que se necesite cambiar, los recursos financieros y de la organización disponibles para trabajar, la configuración de las relaciones personales y de la organización en la historia de la compañía, las presiones para obtener resultados rápidos y mejorar el rendimiento financiero a medio plazo, y otros factores similares que constituyen la "cultura" y el clima laboral generalizado de la compañía. La situación interna de cada compañía es única, por lo que los directivos suelen tener que adaptar su programa de acciones para que concuerde con ella. Los implantadores de la estrategia exitosos consideran con cuidado todas las ramificaciones internas al implantar una estrategia nueva y diagnostican detalladamente las prioridades de acción y la secuencia en la que se deben hacer las cosas; después empiezan a mover su organización y la siguen impulsando.

En otras palabras, el centro de toda estrategia es la obtención de beneficios a partir de los recursos y capacidades que controla la empresa, como son sus activos físicos y financieros, el capital humano, los activos intangibles como marcas, reputación, "saber-hacer", experiencia y tecnología. Las capacidades son básicamente consecuencias de la acción de la dirección para movilizar los recursos mediante la generación de un sistema de rutinas organizativas y de una cultura, resultado de un proceso de aprendizaje colectivo.²³⁶

236 Reyes García, Fernando Enrique. Definir Una Estrategia De Uso de la Energía Eólica Para Generar Electricidad en México. Facultad de Ingeniería, UNAM. 2007.

Conclusiones

En el planteamiento de los objetivos al inicio de este estudio se tenía como objetivo general el desarrollar un estudio prospectivo relativo al uso de la energía nuclear para generar electricidad para nuestro país, Se puede aseverar que se cuenta con un estudio prospectivo que puede servir como base para un análisis más completo relativo a los escenarios que enfrentará el país ante el inminente cambio en la fuente de combustible para la generación de energía eléctrica.

En primera instancia el análisis de la situación actual de México en cuanto a la distribución actual de su matriz energética arroja los siguientes resultados: puede observarse que, al igual que la mayoría de los países, México tiene una dependencia hacia los combustibles fósiles en particular hacia el gas natural. En segunda instancia, el estado actual y el potencial de las energías renovables en nuestro país arrojan las distintas formas en las que se pueden aprovechar los recursos renovables con los que cuenta México, destacando su potencial Eolo-energético, solar y geotérmico. En última instancia, la descripción de la teoría relacionada con la energía obtenida mediante el fenómeno de fisión y la tecnología actualmente utilizada alrededor del mundo, en lo concerniente a reactores nucleares, descubre la predominancia de los reactores PWR's, y BWR's en el mercado nuclear mundial actual.

El análisis de diagnóstico, retrospectiva y proyección del tema de las fuentes de energía disponibles para la generación de electricidad, destaca el tema del intensivo uso que planea dársele al gas natural, y al carbón en el futuro cercano, en donde se concluye que ambos combustibles generarán inestabilidad y dependencia extranjera, debido al escaso recurso carbonífero y al intensivo uso que se le da al gas natural. En el tema de las reservas petroleras de México, se devela la caída de las reservas petroleras debido al decaimiento de Cantarell y a la intensiva política de exportación impuesta por el gobierno federal, así como la falta de descubrimientos de yacimientos importantes.

La comparativa realizada en lo que a acciones llevadas a cabo por otros países petroleros y no petroleros encaminadas al desarrollo de su economía, arroja que los países petroleros se enfocan en algunos casos a fortalecer su industria turística y tecnológica, mientras que otros se dedican a fortalecer sus capacidades de exploración y desarrollo de su industria petrolera, los países que carecen de reservas petroleras, enfocan sus esfuerzos hacia el aprovechamiento de alguna de las energías renovables disponibles en su territorio o a la explotación de sus capacidades de organización y mano de obra. El análisis del potencial de las energías renovables en México desarrollado en la segunda parte de este capítulo refuerza las conclusiones obtenidas en el capítulo anterior en cuanto a que México posee un gran potencial Eolo-energético y Geotérmico, así como el tema de de la energía solar y el de la biomasa disponible también en gran cantidad para su aprovechamiento.

El análisis realizado al estado del arte de la energía nuclear, nos conduce a varias conclusiones, en lo respectivo a la utilización de reactores por otros países se muestra una marcada tendencia hacia la utilización de los reactores tipo PWR y varios programas encaminados al desarrollo de reactores de cuarta generación. La descripción del ciclo del combustible nuclear y el desmantelamiento de las instalaciones nucleares, nos proporciona una idea general del estado del arte de la obtención y aprovechamiento del uranio desde su minería hasta su utilización en el reactor y el desmantelamiento de las plantas y las compañías disponibles que realizan estos servicios, proporcionando la respectiva confianza en el mercado internacional en cuanto a disponibilidad del combustible y mano de obra calificada.

El análisis de los aspectos económicos de la energía nuclear nos describe el potencial económico de este tipo de energía, así como sus características intrínsecas como son sus grandes costos de capital al inicio del proyecto, pero también a su vez el bajo costo de operación. El estudio del desarrollo sostenible de la energía nuclear provee de una serie de puntos y recomendaciones en cuanto a la balanza del desarrollo sostenible de la energía nuclear, como son los temas ambientales, sociales y económicos que deben ser considerados para su desarrollo. Por último el análisis del potencial de México en cuanto a reservas uraníferas explotables para su aprovechamiento devela las grandes reservas disponibles en nuestro país, como son la cuenca de Tlaxiaco, Oaxaca y la Cuenca de Burgos, Tamaulipas, las cuales de desarrollarse una industria uranífera nacional serían suficientes para su autosuficiencia.

El estudio realizado en cuanto a la prospectiva con enfoque estratégico explica como la prospectiva no se limita únicamente a la exploración del futuro, sino que se constituye como la piedra angular en el proceso de planeación y toma de decisiones, ya que ofrece a los planificadores, una visión del futuro deseado y una serie de escenarios que impulsan la definición de amplias opciones en términos de futuros factibles y aporta escenarios, imágenes y alternativas viables orientadas al futuro y permite identificar elementos estratégico esenciales para la toma de decisiones, áreas de oportunidad, riesgo, necesidades de cambio y consolidación. Adicionalmente, estimula la participación y la creatividad mediante una visión compartida de futuro. En esto, la prospectiva como reflexión, y la planeación estratégica como disposición para la acción juegan un papel fundamental.

En cuanto a los objetivos específicos planteados, el capítulo final de este estudio esboza la aplicación del método prospectivo y de la técnica descrita en el capítulo cuatro, este estudio ejecutado con la intención de incrementar la participación de la energía nuclear en la matriz energética de nuestro país, devela en un estudio preliminar el marco regulatorio al que se encuentra sujeto este tema en México, así como la estructura organizacional del sector responsable en nuestro país. Donde se puede concluir que cualquier esfuerzo encaminado al incremento de la capacidad nuclear en México tendrá como directamente responsable a la CFE y como tomador de decisiones a la SENER, con sus respectivos organismos de regulación e investigación como son la CNSNS y el ININ y las Instituciones de Educación Superior (IES) como formadores de recursos humanos.

En cuanto al análisis prospectivo se llega a la conclusión de siete estrategias necesarias para el desarrollo de la prospectiva, de manera resumida se quiere lograr una industria dedicada al desarrollo de la energía nuclear, aumentando empleos y desarrollo tecnológico, es por esto que se sugiere realizar las siguientes acciones:

- Lograr el apoyo de la opinión pública y el apoyo político necesario.
- Detectar la tecnología disponible en el mercado que pudiera resultar la apropiada de acuerdo a las necesidades nacionales, una vez comprobada su viabilidad financiera y técnica, en este caso se decide utilizar la tecnología del reactor ACR-1000.
- Establecer convenio con el fabricante para incluir personal que inicie el proceso de asimilación.
- Establecer convenios con las Instituciones de Educación Superior dando prioridad a los procesos de vinculación para establecer mecanismos permanentes de Investigación y Desarrollo (I+D).
- Iniciar el proceso de asimilación de acuerdo a los tiempos establecidos desde la dependencia hasta la autosuficiencia, aproximadamente 30 años.
- Crear una industria nacional dedicada al desarrollo de la energía nuclear.
- Mantener procesos y productos en constante optimización para lograr la autosuficiencia.

En la opinión del autor, para desarrollar de manera estratégica la energía nuclear en México, se deben poner en marcha esta serie de acciones. Esta visión prospectiva y su respectivo plan estratégico son los instrumentos que permitirán superar las crisis, adaptarse a los cambios y recuperar el control de su destino. Esto es, siempre es mejor saber a donde se quiere llegar, que no saberlo; y mejor aún es el, tener un mapa para ello, por más imperfecto e impreciso que este pueda ser.

Referencias

Capítulo 1

Referencias bibliográficas.

- Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024, SENER 2009, México.
- Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER 2009. México.
- Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. SENER 2009. México.
- Balance Nacional de Energía 2007 y Reforma, 2009.
- *Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca*, National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2003, Estados Unidos de América.
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005.
- Proyecciones para el año 2010 propuestas por el Banco Mundial, 2006.
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017. SENER 2008.
- Libro Blanco de la Bioenergía en México, Red Mexicana de Bioenergía 2005, México.
- *Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today*. 2003. Francia.
- Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (1a parte), UNAM, México, 2005.

Referencias Web.

- www.cfe.gob.mx, CFE 2005, México.
- Balance Nacional de Energía, www.anes.org, ANES 2005, México.
- Sistema de Información Energética: sie.energia.gob.mx/sie/bdiController, SENER 2005, México.
- www.wheelabratortechologies.com/WTI/CEP/nbroward.asp.
- CANDU Owner's Group Inc. <http://www.candu.org/> 2010.
- CFE, 2007.
[tp://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/nucleoelectlagverde](http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/nucleoelectlagverde)

Capítulo 2

Referencias bibliográficas.

- En Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (1a parte), UNAM, México, 2005.
- Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005.
- PEMEX exploración y producción. Las Reservas de hidrocarburos de México. México, 2009.
- Bateman, Alan M. Economic Mineral Deposits, 1955.
- Wallace Robert-Bruce. El Carbón en México. Economía Informa. Núm. 359. Julio-Agosto 2009.
- Martín-Amouroux, 2008. Cit. En Wallace Robert-Bruce. El Carbón en México. Economía Informa. Núm. 359. Julio-Agosto 2009.
- BP Statistical Review of World Energy, Junio, 2008. Cit. En Wallace Robert-Bruce. El Carbón en México. Economía Informa. Núm. 359. Julio-Agosto 2009.
- IEA, Electricity for México, 2006. Cit. En Ídem.
- Prospectiva SENER 2008-2017.pdf, p.16. Cit. En Ídem.
- United Arab Emirates yearbook, 2007.
- Navia J., et al. Potencial de cogeneración de electricidad en la industria azucarera. Memorias de la XI Reunión Nacional de Energía Solar, 30 de septiembre al 2 de octubre de 1981, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 304-308. Villahermosa, Tabasco, México.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Perspectivas de las fuentes no convencionales de energía dentro del Sector Eléctrico y su posible contribución a la generación eléctrica en diferentes regiones del país. Reporte IIE/10/14/2928/01/F, pp. 167-168. Cuernavaca, Morelos, México, 1994.
- Sancho, J., Rosiles G. Situación actual del manejo integral de residuos sólidos en México. Revista Federalismo y Desarrollo. Año 11, no. 62, abril-junio, 1998, Tema: residuos sólidos municipales, pp. 3-16. México, D. F.
- Arvizu J. L., et al. Potencial energético de la biomasa en México. Memorias de la XXVI Semana Nacional de Energía Solar, 11 al 15 de noviembre de 2002, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 601-606. Chetumal, Q. Roo, México.
- Organización Latinoamericana de Energía. Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe, volumen I. México. Programa Regional de Energía Eólico. Quito, Ecuador, 1983.
- Reyes, O. Atlas eólico preliminar de la República Mexicana, Universidad Veracruzana, Facultad de Física. Tesis de Licenciatura. Xalapa de Enríquez, Ver., México, 1987.
- Saldaña R., Caldera, E. Evaluación de los patrones estacionales de velocidad y dirección de viento en las diferentes zonas geomórficas del territorio nacional. Memorias de la XIII Reunión Nacional de Energía Solar, 2 al 6 de octubre de 1989, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 69-74. Morelia, Mich., México.
- Evaluación del potencial eólico en El Ciprés, S. L. P., pp. 219-224. 1ª Reunión de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina. ISBN-968-6194-32-0 0167-90014-A0022. San Luis Potosí, México, 1990.
- Caldera, E., Saldaña R. Análisis del comportamiento del viento en la zona costera norte y porción insular del estado de Quintana Roo. Memorias de la XV Reunión

Nacional de Energía Solar, 30 de septiembre al 4 de octubre de 1991, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 102-106. Zacatecas, Zac., México.

- Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Informe al municipio de Zacatecas sobre la terminación de la 1ª. Etapa del proyecto de la central eólica del cerro de La Virgen. Informe IIE/FE/10/14/5010/I-02/F. Cuernavaca, Morelos, México, junio 1994.
- Schwartz, M., Elliot D. Mexico Wind Resource Assessment Project. National Renewable Energy Laboratory. Documento NREL/TP-441-7809. Washington, D. C., March, 1995.
- Borja M., et al. Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica, pp. 120-124, primera edición, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa Universitario de Energía. ISBN 968-36-7433-X. México, 1998.
- Probst O., et al. Estudio del potencial eólico en Santa Catarina, N. L., pp. 515-516. Memorias de la XXV Semana Nacional de Energía Solar, octubre de 2001, Asociación Nacional de Energía Solar. San Luis Potosí, S. L. P., México.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Evaluación del potencial energético de los recursos eólico y solar para la generación eléctrica en los cinco polos de desarrollo identificados en el Plan FIDENOR. Reporte IIE/01/14/12325/I006/F/DI. Cuernavaca, Morelos, México, Noviembre 2003.
- Elliot D., et al. Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca. National Renewable Energy Laboratory. Documento NREL/TP-500-35575. Abril, 1994.
- Comisión para el Ahorro de Energía. Estudio de la situación actual de la Minihidráulica nacional y potencial en una región de los estados de Veracruz y Puebla. México, (sin fecha).
- Valdez Ingenieros S.A. de C. V. "Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía Aplicaciones en México." Agosto 2005. Pág. 5.
- SE. CONAE. "Estudio de la Situación Actual de la Minihidráulica Nacional y Potencial en una Región de los Estados de Veracruz y Puebla." Dirección de Cogeneración y Fuentes no Convencionales de Energía, Coordinación Técnica. 1995. 204. pp.
- CONAE. "Informe Final : Metodología para evaluar centrales minihidroeléctricas." Coordinación Técnica. Junio 1999. 61pp.
- Valdez Ingenieros SA de CV." Estudio de potencial minihidráulico en Zongolica." CONAE-USAID-SNL, Coordinación Técnica. Abril 2004. 32 pp.
- Valdez Ingenieros S.A. de C. V. "Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía Aplicaciones en México." Agosto 2005. Pág. 7.
- Valdez Ingenieros S.A. de C. V. "Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía Aplicaciones en México." Agosto 2005. Pág. 11.
- Organización Latinoamericana de Energía. Atlas Preliminar de Climatología Solar de América Latina y el Caribe. México (versión a revisión). Programa Latinoamericano de Energía Solar. Quito, Ecuador, 1985.
- Galindo, I. y Valdés M. -México- Atlas de Radiación Solar, Documentos de Análisis y Prospectiva del Programa Universitario, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1991.
- Galindo, I., Castro S., Valdés, M. Revista Atmósfera (1991), 4, pp. 189-201.
- Hernández E., et al. Atlas Solar de la República Mexicana. Textos Universitarios. Universidad de Colima, Universidad Veracruzana. ISBN 968- 834-230-0. México, agosto, 1991.
- Almanza, R., Muñoz F. Ingeniería de la Energía Solar. Colegio Nacional. ISBN 968-6664-79-5. México, 1994.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gerencia de Energías No Convencionales. Informe IIE/01/14/11778/I02/A. Desarrollo del Sistema de Información Geográfica

para las Energías Renovables en México. 2ª Etapa. Informe Anual. Cuernavaca, Morelos, México, enero de 2001.

- Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 11.
- VI Foro Regional. Impacto Estratégico de la Energía Geotérmica y Otras Renovables en Centro América. Managua, Nicaragua, Octubre de 2005. "Situación Actual y Perspectivas de la Energía Geotérmica en México", Autor: Luis Quijano, CFE, Gerencia de Proyectos Geotérmicos.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 13.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 18.
- Gutiérrez-Negrín y Quijano-León, 2004. Cit. En. Ídem.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 21
- Gutiérrez-Negrín y Quijano-León, 2004. Cit. En. Ídem.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México", 2005. Autores: Dr. Eduardo Iglesias, M.I. Víctor Arellano, Ing. Rodolfo Joaquín Torres. Pág. 23.

Referencias hemerográficas.

- ✓ Ortiz Soler, Mario. "Hace 30 años: "Administremos la abundancia"", en Excélsior. México, 8 de Agosto 2007, p. 6-A.
- ✓ Jiménez, Roberto. "El alumno que superó al maestro", en Excélsior. México, 18 Ene. 2008, Dinero 8.

Referencias Web.

- Labastida Ochoa, Francisco. En Ocho Años sin petróleo. México, La palabra.com, 2006. <http://esp.mexico.com/lapalabra>.
- "Estos buscan petróleo y gas y nosotros a Santucho", en La Nación Web, 18 Ene. 2008. Economía. <http://www.lanacion.com.ar/economía>
- La industria en México. Extracción y Producción. SENER. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=425>. Consultada el 23 de Mayo del 2010.
- Impulsa México carboeléctricas. Reforma. <http://www.teorema.com.mx/energia/impulsa-mexico-carboelectricas/>. Consultada el 23 de Mayo del 2010.
- APEC Energy Demand and Supply Outlook, 2006, www.ieej.jp/apec/2006pdf//outlook2006/ER_Mexico.pdf.
- Información económica institucional del Gobierno Noruego.
- <http://odin.dep.no/odin/global/busqueda>
- Bases de Datos del Banco Mundial. <http://www.bancomundial.org/datos/>
- Genatios Carlos y Lafuente Marianela. "China y su crecimiento ¿sin petróleo?". Voltaire. 10 Ene. 2008. <http://www.voltairenet.org/article122996.htm>

- Energy Independence: How Denmark Kicked Its Foreign Oil Habit. Neatorama. 2008. <http://www.neatorama.com>. Consultada el 28 de marzo del 2010.
- Consumer, "Electricidad Mar Adentro", España, 2004.
- <http://revista.consumer.es/web/es/20041201/medioambiente/>
- NREL. Mapas del recurso eólico para diferentes regiones de México. Disponibles al público en la página de Internet: www.re.sandia.gov/en/ti/tifs.htm.
- IIE. Mapas del Recurso Eólico para diferentes zonas del país. Disponibles al público en la página de Internet: <http://genc.iie.org.mx/genc/>.

Capítulo 3

Referencias bibliográficas.

- World Nuclear Association, 2003.
- IAEA, 2004. Cit. en Juan A. Cabrera. Energía nuclear. Fundación OPTI y CIEMAT. España, 2005.
- Juan A. Cabrera. Energía nuclear. Fundación OPTI y CIEMAT. España, 2005.
- Uranium Information Centre. Cit en. NEA. Nuclear Energy Today. 2003. Francia.
- Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Today. 2003. Francia.
- NEA, The Decommissioning and Dismantling of Nuclear Facilities: Status, Approaches, Challenges. Paris: OECD, 2002.
- NEA, The Economics of the Nuclear Fuel Cycle. Paris: OECD, 1994.
- Royal Academy of Engineering, Nuclear Energy: The Future Climate. London: The Royal Society, 1999.
- NEA, Uranium 2001: Resources, Production and Demand. Paris: OECD, 2002.
- NEA, Nuclear Power and Climate Change. Paris: OECD, 1998.
- Sergio D. Bazán Perkins. La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México (2a parte), UNAM, México, 2005. Pág. 13.
- Country Nuclear Power Profiles, IAEA 2003.
- IAEA 2003, Country Nuclear Power Profiles

Capítulo 4

Referencias bibliográficas.

- Pinilla Morán, Víctor Damián. *Prospectiva. Un enfoque estratégico*. FI-UNAM. 2009.
- Moore, Gordon E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics Magazine*. Pág. 4.
- Giral B., José y González, Sergio. *Estrategia Tecnológica Integral*. 1986.
- Fernández Sánchez, E. y Fernández Casariego, Z. *Manual de dirección estratégica de la tecnología, La producción como ventaja competitiva*. Editorial Ariel Economía, 1988.
- Miklos, Tomás y Tello, Ma. Elena. *Planeación prospectiva*. Editorial Limusa. México, 1997.
- Miklos, Tomás, Arroyo Margarita. *Prospectiva y Escenarios para el Cambio Social. Serie Working Papers, FCPS-UNAM*. México 2008.
- Magee, J.P. *Managing Technology In A Strategic Context*. IX Congress International de Planificación d'Enterprise, París, 1983.
- Reyes García, Fernando Enrique. *Definir Una Estrategia De Uso de la Energía Eólica Para Generar Electricidad en México*. Facultad de Ingeniería, UNAM. 2007.
- E. Ames y N. Rosenberg. *El Cambio del Liderazgo y El Crecimiento Industrial*. Lecturas 31, Economía del cambio tecnológico, Fondo de Cultura Económica, México, 1979.
- Godet, Michel. *Prospectiva y planificación estratégica*. SG Editores. Barcelona, 1991.
- Miklos, Tomás y Tello, Ma. Elena. *Planeación prospectiva*. Editorial Limusa. México, 1997.
- Miklos, Tomás, Arroyo Margarita. *Prospectiva y Escenarios para el Cambio Social. Serie Working Papers, FCPS-UNAM*. México 2008.

Referencias hemerográficas.

- ✓ Reforma. Sección: Ciencia. Fecha: 28 de Junio de 2007.

Referencias Web.

- Web and Macros. Misión, Visión y Valores. http://www.webandmacros.com/Mision_Vision_Valores_CMI.htm. Consultada el 9 de Agosto del 2009.

Capítulo 5

Referencias bibliográficas.

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017, SENER 2008, México.
- Acevedo, José Alberto. Estrategias para la Diversificación de Fuentes de Energía para Generación de Electricidad. SENER. 2005.
- Reyes García, Fernando Enrique. Definir una estrategia de uso de la energía eólica para generar electricidad en México. FI-UNAM. 2007.
- Palacios Hernández, Javier C. Prospectiva de la Generación Nucleoeléctrica en México. ININ. 2007.
- Structuring Nuclear Projects for Success. WNA.
- Del Fuego a la Energía Nuclear. CFE. 2006.
- Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries, OECD/NEA 2005.
- Xolocostli Munguía, José Vicente y Otros. Percepción de la Energía Nuclear en México. Simposio LAS/ANS 2007. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2007.

Referencias hemerográficas.

- ✓ Repotenciación de Laguna Verde a Iberdrola. FTE de México. 2007. Pág. 84.
- ✓ Rodríguez I., en La Jornada. 20-Ene-2007.

Referencias Web.

- SENER. Seguridad Nuclear. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=23>. Consultada el 3 de Mayo del 2009.
- CNSNS, Misión Y Visión. http://www.cnsns.gob.mx/acerca_de/mision.aspx. Consultada el 1 de Septiembre del 2009.
- SENER, Misión Y Visión. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=62>. Consultada el 3 de Septiembre del 2009.
- CFE, Misión, Visión y Objetivos. <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/misionyobjetivos/>. Consultada el 3 de Septiembre del 2009.
- Portal de obligaciones de Transparencia. IFAI. <http://portaltransparencia.gob.mx>. Consultado el 30 de Septiembre de 2009.
- CFE. Organigrama. <http://www.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/organigrama>. Consultado el 30 de Septiembre de 2009.
- CFE. Financiamiento. <http://www.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/financiamiento>. Consultado el 30 de Septiembre de 2009.
- CFE, Central Laguna Verde. www.cfe.gob.mx consultada el 16 de Noviembre de 2009.
- World Nuclear Association. Nuclear Power in Mexico. 20/11/2007.
- <http://www.world-nuclear.org/info/inf106.html>