

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

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

## Índice de gráficas

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

## Índice de tablas

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

## Índice de cuadros

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