



El presente es un documento elaborado para el estudio “Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo”, realizado por la Academia de Ingeniería de México con el patrocinio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

La información así como las opiniones y propuestas vertidas en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores.

La Academia y los autores agradecerán las sugerencias y comentarios de los lectores para mejorar su contenido y las omisiones en que se haya incurrido en su elaboración.



Contenido

Introducción	3
Breve descripción de los tres escenarios del WEO-2011.....	4
Evolución de la demanda mundial de energía primaria.....	5
Emisiones de CO ₂ a la atmósfera por el consumo energético mundial	6
Evolución de la producción mundial de electricidad.....	7
Ingeniería e innovación en el abasto energético.....	8
Carbón.....	10
Petróleo.....	11
Gas natural.....	13
Electricidad.....	15
Uranio y energía nuclear.....	16
Energías renovables.....	18
Perspectivas mundiales de las tecnologías energéticas.....	18
El progreso de las energías limpias.....	22
Políticas para promover la innovación tecnológica.....	23
El financiamiento de la revolución energética limpia	25
Conclusiones sobre la situación mundial.....	27
Situación en México.....	28
Introducción.....	28
Producción de energía primaria.....	29
Comercio exterior de energía primaria.....	31
Oferta interna bruta de energía primaria.....	31
Energía secundaria y consumo nacional.....	33
Emisiones de CO ₂ a la atmósfera por el consumo de energía	35
Estrategia Nacional de Energía 2012-2026	36
Visión a 2026 de la Estrategia Nacional de Energía.....	37
Las fuentes no fósiles en la matriz de energía primaria.....	40
Las fuentes no fósiles en la generación bruta de electricidad.....	41
Eficiencia en el consumo de energía.....	45
Elementos transversales de la Estrategia Nacional de Energía	48
Financiamiento de la ciencia y tecnología en México.....	49
Recursos humanos ocupados en ciencia y tecnología	53
Formación de recursos humanos en ingeniería y tecnología.....	54
Recursos humanos en ingeniería vinculados con la industria energética	55
Cadenas de suministro de los proyectos eólicos y nucleares	58
Políticas públicas en materia energética.....	63
Conclusiones sobre la situación en México.....	64
Apéndice.....	65
Referencias	65

Situación actual y prospectiva mundial de la energía y su relación con la ingeniería y la innovación

Carlos Villanueva Moreno

Situación mundial

Introducción

La oferta y el consumo mundial de energía en todas sus formas tienen una estrecha relación con el bienestar de la humanidad y el abasto energético suficiente y oportuno es uno de los factores del crecimiento económico de las naciones, cualquiera que sea su nivel de desarrollo. También hay una estrecha correlación entre el uso de la energía y las emisiones de bióxido de carbono al medio ambiente, que son una componente importante del fenómeno del calentamiento global.

Tabla 1.- Demanda de energía primaria por tipo de combustible y escenario de evolución										
IEA: World Energy Outlook 2011										
	evolución histórica		prospectiva según varios escenarios							
			políticas actuales		nuevas políticas		escenario 450			
	1980	2009	2020	2035	2020	2035	2020	2035		
tipo de energético	Mtoe									
carbón	1,792	3,294	4,416	5,419	4,083	4,101	3,716	2,316		
petróleo	3,097	3,987	4,482	4,992	4,384	4,645	4,182	3,671		
gas natural	1,234	2,539	3,247	4,206	3,214	3,928	3,030	3,208		
nuclear	186	703	908	1,054	929	1,212	973	1,664		
hidro	148	280	366	442	377	475	391	520		
biomasa y residuos*	749	1,230	1,449	1,707	1,495	1,911	1,554	2,329		
otros renovables**	12	99	256	481	287	690	339	1,161		
total	7,218	12,132	15,124	18,301	14,769	16,962	14,185	14,869		
tmca respecto a 1980	1.8%									
	tmca respecto a 2009		2.0%	1.6%	1.8%	1.3%	1.4%	0.8%		
* incluye usos tradicionales y modernos										
** incluye la eólica, geotérmica, solar y oceánica										

Desde el punto de vista de la demanda mundial de energía primaria, en la tabla 1 se desglosa la evolución histórica de la respectiva contribución de los energéticos primarios entre 1980 y 2009, cuyo total evolucionó en ese período de 19 años con una tasa media de crecimiento anual (tmca) de 1.8%.

También se tabula la prospectiva a corto plazo, a 2020, y a largo plazo, a 2035, según varios escenarios de la Agencia Internacional de la

Energía (AIE), de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) (1), que convencionalmente utiliza como unidad de energía el millón de toneladas de petróleo equivalente, 1 Mtoe = 107 Gcal.

Breve descripción de los tres escenarios del WEO-2011

Ninguno de los tres escenarios descritos y analizados en el documento de la Agencia Internacional de la Energía "World Energy Outlook 2011" (WEO-2011) deben ser considerados como pronósticos de la evolución de la demanda y oferta mundiales de energía primaria, sino que son proyecciones a 2035, consistentes internamente, que cuantifican los efectos que tendrían las políticas y medidas que los gobiernos pusieran en práctica para diversificar el uso de los energéticos primarios, racionalizar el consumo y reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

El escenario de políticas actuales muestra cómo se vería el futuro si se perpetúan sin cambio las políticas gubernamentales y medidas que han sido promulgadas o adoptadas hasta mediados de 2011. Entre las más destacadas por su magnitud e impacto se pueden enunciar, por ejemplo, las siguientes: el 12avo plan quinquenal de China, para el período 2011-2015; un nuevo esquema en India que permite el comercio de certificados de energías renovables y un nuevo programa para apoyar la introducción de vehículos con combustibles alternativos; nuevas directivas de la Unión Europea acerca del desempeño energético de edificios y de estándares de emisiones para vehículos comerciales ligeros; así como nuevos estándares para aparatos electrodomésticos en los Estados Unidos.

El escenario de nuevas políticas, que es el escenario central del WEO-2011, incorpora los amplios compromisos y políticas que ya han sido anunciadas por países en todas las regiones del mundo para atacar la inseguridad energética, el cambio climático y la contaminación local, así como otros desafíos energéticos apremiantes, aunque las medidas específicas para implementar tales compromisos todavía no han sido divulgadas.

Estos compromisos incluyen entre otros: el mayor uso de las energías renovables; metas de eficiencia energética; programas de apoyo relacionados con el desmantelamiento o incremento de programas nucleares; compromisos nacionales para la reducción de gases de efecto invernadero anunciados oficialmente a raíz de los Acuerdos de Cancún; así como las iniciativas emprendidas por el G-20 y las economías del Consejo Económico de Asia y Pacífico (APEC) para eliminar los

ineficientes subsidios a los combustibles fósiles que incentivan el desperdicio en el consumo energético.

El Escenario 450 define la ruta energética consistente con una probabilidad del 50% de alcanzar el objetivo de limitar a 2°C el incremento del promedio de la temperatura global, comparada con los niveles preindustriales. De acuerdo con los expertos climáticos, para alcanzar este objetivo sería necesario limitar al largo plazo la concentración en la atmósfera en 450 partes por millón de CO₂ equivalente (ppm CO₂-eq).

En el período hasta 2020, el Escenario 450 supone acciones más vigorosas de política para implementar completamente los Acuerdos de Cancún, que las que se adoptan en el escenario de nuevas políticas, las cuales suponen una implementación cautelosa. Después de 2020, se supone que los países de la OCDE y otras economías mayores fijan objetivos a 2035 y más al largo plazo de emisiones en todos los sectores de la economía, a fin de asegurar colectivamente una trayectoria de evolución de las emisiones que sea consistente con la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en 450 ppm.

Evolución de la demanda mundial de energía primaria

Respecto a la demanda total de energía primaria en 2009, en el escenario de políticas actuales la tmca hasta 2020 subiría a 2.0%, y hasta 2035 bajaría a 1.6% anual. En el escenario de nuevas políticas en el período 2009-2020 la tmca se mantendría en 1.8% anual y en el período 2009-2035 bajaría a 1.3% anual. Finalmente, por el efecto de las políticas y medidas para lograr los objetivos del Escenario 450, en el corto plazo el crecimiento medio de la demanda sería 1.4% anual y en el largo plazo se reduciría notablemente a 0.8% anual.

Del análisis de los datos de la tabla 1 se concluye que, de mantenerse las políticas actuales. al largo plazo el carbón (29.6%) y el petróleo (27.3%) seguirán dominado el abasto energético mundial, seguidos muy de cerca por el gas natural (23.0%) y en mucho menor medida por la biomasa y residuos (9.3%) y la energía nuclear, hidroenergía y otras energías renovables, que en conjunto suman el restante 10.8%.

De adoptarse las nuevas políticas, a largo plazo el petróleo (27.3%), el carbón (24.2%) y el gas natural (23.2%) seguirían dominado el abasto energético mundial, pero aumentaría la contribución de la biomasa y desechos (11.3%), así como de la energía nuclear, hidroenergía y otras energías renovables, que en conjunto sumarían el 14%.

Finalmente, en el Escenario 450, a largo plazo en 2035 el petróleo (24.6%) y el gas natural (21.6%) serían todavía los energéticos primarios dominantes, pero el carbón reduciría su contribución (15.6%) ya que sería desplazado por la biomasa y desechos (15.7%), la energía nuclear (11.2%) y por otras energías renovables (7.8%), así como por la hidroenergía (3.5%). Estas energías limpias contribuirían en conjunto al 38.2% del total.

Obsérvese que a pesar de la elevada tasa de crecimiento anual de las otras energías renovables como la eólica, la geotérmica, la solar y la oceánica en el período histórico 1980-2009 (7.9%), así como en la prospectiva al mediano plazo (11.8%) y aún en el largo plazo (9.9%) del Escenario 450, dado que parten de una base muy pequeña se esperaría que aún en 2035 su contribución al abasto mundial total de energía primaria seguiría siendo marginal (7.8%), menor que la participación de la energía nuclear (11.2%).

Emisiones de CO₂ a la atmósfera por el consumo energético mundial

En la tabla 2 se muestra la prospectiva en el Escenario 450 de las emisiones de CO₂ a la atmósfera por el consumo de los combustibles fósiles, en períodos quinquenales entre 2010 y 2035.

Tabla 2.- Emisiones mundiales de CO₂ por tipo de combustible						
IEA: World Energy Outlook 2011						
	Escenario 450					
	2010	2015	2020	2025	2030	2035
tipo de energético	Gt					
carbón	13.1	14.5	13.8	10.8	7.4	5.2
petróleo	10.8	11.1	11.1	10.6	10.1	9.6
gas natural	6.1	6.4	6.8	6.9	6.8	6.4
total	30.0	32.0	31.7	28.3	24.3	21.2
tmca respecto a 2010		1.3%	0.6%	-0.4%	-1.0%	-1.4%

Se observa que entre 2010 y 2015 las emisiones crecerían de 30 mil millones de toneladas de CO₂ a 32 mil millones anuales, con una tmca de 1.3%. Entre 2015 y 2020 se alcanzaría un máximo y en este año se situarían en 31 700 millones de toneladas anuales, de manera que entre 2010 y 2020 la tmca sería de sólo 0.6% y se lograría estabilizar las emisiones.

De 2020 en adelante, en el Escenario 450 se reducirían paulatinamente las emisiones a la atmósfera y en 2035 se llegaría a 21 200 millones de toneladas anuales de CO₂, con una tmca negativa de 1.4% anual en el período de 25 años, respecto a las emisiones de 2010.

Evolución de la producción mundial de electricidad

La electricidad es un energético secundario que requiere producirse con energéticos primarios, cuya contribución a la producción bruta histórica de electricidad en 1990 y 2009 se desglosa en la tabla 3, así como la proyectada al mediano plazo a 2020 y al largo plazo a 2035, en los tres escenarios de la WEO-2011 de la AIE (1) descritos anteriormente. Al total de la producción se le descuentan los usos propios y pérdidas de transmisión y distribución, para dar el total del consumo final expresado en TWh, que son las unidades usuales para la electricidad.

Del análisis de las cifras de la tabla 3 se desprende, en primer lugar, que en 2009, con los combustibles fósiles se generaba la mayor cantidad de energía eléctrica (67.1%), y en menor cantidad con las hidroeléctricas (16.2%) y las nucleares (13.5%). Las renovables contribuían muy poco (3.2%).

Tabla 3.- Generación de electricidad por tipo de planta y escenario de evolución

IEA: World Energy Outlook 2011

tipo de planta	evolución histórica		prospectiva según varios escenarios					
			políticas actuales		nuevas políticas		escenario 450	
	1990	2009	2020	2035	2020	2035	2020	2035
	TWh							
combustibles fósiles	7,490	13,445	18,757	26,176	17,593	20,492	15,835	10,765
energía nuclear	2,013	2,697	3,495	4,053	3,576	4,658	3,741	6,396
hidroeléctricas	2,144	3,252	4,254	5,144	4,380	5,518	4,547	6,052
renovables sin hidro*	173	650	2,063	3,995	2,332	5,582	2,712	9,011
total	11,820	20,044	28,569	39,368	27,881	36,250	26,835	32,224
tmca respecto a 1990		2.8%						
		tmca respecto a 2009	3.3%	2.6%	3.0%	2.3%	2.7%	1.8%

* incluye la biomasa y residuos, eólica, geotérmica, solar y oceánica

El sector eléctrico es el que ofrece mayor flexibilidad para la diversificación de los energéticos primarios ya que hay diversas tecnologías maduras y otras en desarrollo que, cuando se demuestren tecnológicamente y sean competitivas económicamente, permitirán incrementar de manera significativa la proporción de la oferta energética proveniente de fuentes alternas a los combustibles fósiles, para así reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Más adelante se mencionarán brevemente tales innovaciones tecnológicas.

En ese contexto, en el largo plazo la Agencia Internacional de la Energía (IEA) proyecta que en el Escenario 450 los combustibles fósiles reducirían su contribución a la producción de electricidad (33.4%) debido al importante disminución hacia 2035 en el uso de carbón en la industria eléctrica. En segundo término las energías renovables, excluida la hidráulica, aumentarían notablemente su participación (28.0%) y las energías hidráulica (18.8%) y nuclear (19.8%) continuarían aportando cantidades menores, pero significativas. De esta manera se lograría una diversificación muy saludable en la matriz energética para generar electricidad y al desplazar al carbón con los energéticos limpios se reducirían (29.3%) las emisiones de CO₂ a la atmósfera, respecto a las de 2010.

Ingeniería e innovación en el abasto energético

La industria energética mundial abarca multitud de actividades secuenciales, desde la exploración y explotación de los yacimientos y localidades de los energéticos primarios como son el carbón, el petróleo, el gas natural, el uranio, los recursos hidráulicos y geotérmicos, así como otros energéticos renovables; incluido el diseño, construcción, puesta en servicio y operación de las instalaciones industriales necesarias para transformar los energéticos primarios en insumos útiles para la industria del transporte, la industria carboquímica y petroquímica, así como la industria de transformación y manufacturera en general, y finalmente la industria eléctrica; para terminar en las actividades relacionadas con la prevención y mitigación del impacto al medio ambiente de las actividades de la industria energética, sin omitir el desmantelamiento de las instalaciones al final de su vida útil y el manejo de los residuos producidos en todas las etapas de la industria.

En todo ese amplio espectro de actividades multidisciplinarias intervienen en mayor o menor medida todas las especialidades de la ingeniería, desde geólogos, geofísicos, mineros, civiles, mecánicos, electricistas, electrónicos, cibernéticos, mecatrónicos, químicos, industriales, nucleares, navales, hasta ambientales y urbanistas, así como científicos de la especialidad de la física, química, biología y de una variedad de ciencias sociales.

Los logros de todo este universo de profesionales que trabajan en equipo son fundamentales para que la industria produzca oportunamente, a un costo competitivo y con un bajo impacto ambiental los energéticos de alta calidad que demanda la economía mundial. A los precios de mercado estimados por la AIE (1), complementados con estimaciones de la CFE (2) para la energía hidroeléctrica y la nuclear, el

abasto mundial de energía primaria representó en 2010 un valor del orden de 3.668 billones de dólares de 2010 (10^{12} USD₂₀₁₀), que equivalen a un precio promedio estimado de 296.49 USD₂₀₁₀/Mtoe.

La evolución del desglose aproximado del valor de mercado del abasto mundial de energía se muestra en la tabla 4, en la que se observa que para 2020 en el Escenario de nuevas políticas, en moneda constante la AIE estima un valor total de $5.532 \cdot 10^{12}$ USD₂₀₁₀, que equivalen a un precio promedio de 374.⁵⁶ USD₂₀₀₇/Mtoe. Para 2035 el valor total estimado sería $6.720 \cdot 10^{12}$ USD₂₀₁₀, al precio promedio estimado de 396.¹⁶ USD₂₀₀₇/Mtoe.

Obsérvese que más del 98% del valor de mercado se concentra en el petróleo, carbón y gas natural, ya que la energía nuclear y la hidráulica tienen pequeños costos marginales por concepto de energía, los cuales son casi nulos en el caso de la biomasa y desechos, así como en otras energías renovables.

Tabla 4. - Valor estimado del abasto mundial de energía primaria

IEA. World Energy Outlook 2011

CFE. COPAR de generación 2011

año	valor de mercado del abasto			estimación del precio de mercado de los energéticos		
	2010	nuevas políticas		2010	nuevas políticas	
	2010	2020	2035	2010	2020	2035
tipo de energético	10 ¹² USD ₂₀₁₀			MUSD ₂₀₁₀ /Mtoe		
carbón	0.825	1.073	1.115	245.222	262.774	271.92
petróleo	2.182	3.306	3.871	542.326	754.118	833.28
gas natural	0.612	1.079	1.604	235.537	335.567	408.246
nuclear	0.045	0.068	0.120	61.64	73.66	99.14
hidro	0.004	0.006	0.010	13.30	15.89	21.39
biomasa y residuos*	0.000	0.000	0.000	no hay precios de mercado		
otros renovables**	0.000	0.000	0.000	muy pequeños		
total	3.668	5.532	6.720	296.49	374.56	396.16

En este ambiente económico mundial compiten las distintas industrias particulares que conforman el gran conglomerado industrial de la energía y dentro de cada una de ellas se esfuerzan los financieros, administradores e ingenieros en producir y utilizar la energía con mayor eficiencia y menores costos, así como con menor impacto al medio ambiente, para obtener cada vez una mayor participación del mercado con mayores utilidades al capital invertido.

Para lograr esos objetivos de la industria energética mundial se requiere de innovaciones tecnológicas en las respectivas industrias particulares, para lo cual es necesaria la intervención de las muy distintas especialidades de la ingeniería con un alto grado de calidad y oportunidad para idear los procesos y diseñar y construir los equipos e instalaciones necesarios para llevar al mercado energético las innovaciones que resulten competitivas.

En los párrafos siguientes se comentarán algunas de las innovaciones que se están desarrollando en el ámbito mundial en cada una de las industrias particulares de los energéticos, en las cuales también podría participar la ingeniería mexicana con los incentivos adecuados.

Carbón

El carbón continuará siendo el principal energético primario que utilice la humanidad a largo plazo, al menos hasta e 2035, ya que las reservas son enormes en las principales regiones productoras y consumidoras del mundo (1), como se desglosa en la tabla 5.

Tabla 5.- Reservas y recursos mundiales de carbón		
IEA. World Energy Outlook 2011		
	reservas	recursos
año 2009		
región	10³ Mt	
Norte América	265	8,138
Asia-Pacífico	385	7,936
Europa Oriental y Eurasia	232	4,215
Europa	72	748
Africa	30	79
Latinoamérica	15	48
Medio Oriente	1	40
Total mundial	1,000	21,204
Mtoe	404,531	8,577,670
años	123	2,604

El total mundial de 1 billón de toneladas (10⁶ Mt) de reservas de carbón, comercialmente explotables con la tecnología actual,

equivalen a 404,531 Mtoe de energía primaria, que a la tasa de consumo actual de 3,294 Mtoe anuales alcanzan para 123 años. El 88.2% de las reservas se localizan en Asia-Pacífico, Norteamérica y Europa Oriental y Eurasia.

Los recursos totales estimados son 21.2 billones de toneladas, es decir 8'577,670 Mtoe que alcanzarían para 2,604 años a la tasa de consumo actual. El 95.7% de los recursos se concentran en las mismas regiones Asia-Pacífico, Norteamérica y Europa Oriental y Eurasia.

A pesar de que el carbón es un energético muy sucio por su alto contenido de azufre y cenizas y que la combustión del carbón arroja 3.7 toneladas de CO₂ por tonelada de C quemado en las calderas industriales y eléctricas, los grandes países del mundo no dejarán de utilizarlo en el largo plazo, porque con él satisfacen en gran medida sus necesidades energéticas.

Para continuar utilizando el carbón con menores impactos al medio ambiente local y global se han desarrollado y se están implantando tecnologías para aumentar la eficiencia de conversión en centrales carboeléctricas con calderas supercríticas, para capturar los óxidos de azufre y nitrógeno creados durante la combustión, así como para gasificar el carbón y quemarlo en turbinas de gas de centrales de ciclo combinado.

También se están investigando métodos para secuestrar *in situ* o de forma remota en formaciones geológicas o en el océano, el CO₂ producido por la combustión del carbón ya sea, en calderas industriales y en centrales carboeléctricas o de ciclo combinado.

Petróleo

Como se puede ver en la tabla 6 las reservas mundiales probadas de petróleo (1), que son las que tienen una probabilidad de 90% de extracción rentable, no son de la misma magnitud que las del carbón y alcanzan sólo para 50 años, ya que suman 1,395 miles de millones de barriles (10³ Mbbbl) y equivalen a 200,943 Mtoe de energía primaria. El 83.9% de estas reservas se concentran en el Medio Oriente, Latinoamérica y Norteamérica.

Los recursos totales estimados son del orden de 5,371 miles de millones de barriles, que equivalen a 773,457 Mtoe de energía primaria y alcanzarían para 194 años a la tasa de consumo actual.

El 80.1% de estos recursos están en Norteamérica, el Medio Oriente y Europa Oriental y Eurasia, e incluyen volúmenes potencialmente recuperables de petróleo convencional, así como petróleo extra pesado y kerógeno, pero se deben superar muchas barreras comerciales y políticas para poderlas desarrollar plenamente.

Tabla 6.- Reservas y recursos mundiales de petróleo		
IEA . World Energy Outlook 2011		
año 2010	reservas	recursos
región	10³ Mbbl	
Norte América	195	2,111
Asia-Pacífico	28	123
Europa Oriental y Eurasia	84	1,038
Europa	0	78
Africa	112	201
Latinoamérica	223	670
Medio Oriente	753	1,150
Total mundial	1,395	5,371
Mtoe	200,943	773,457
años	50	194

Dada la gran inercia que ha mostrado la industria automotriz para la innovación en materia de automóviles eléctricos, así como la gran resistencia de la industria petrolera para lograr la transición a tecnologías avanzadas, el petróleo seguirá siendo el energético básico para la industria del transporte y los grandes países productores y consumidores seguirán dependiendo de él y sus derivados petrolíferos para sostener a ese importante sector de la economía mundial.

Por ello, hay una gran necesidad de continuar con el proceso de innovación, por una lado en la búsqueda de nuevos yacimientos petroleros en regiones remotas y en aguas profundas del mar, así como en los procesos de extracción, refinación y producción de petrolíferos limpios y económicos.

También se requiere de innovaciones en la industria del transporte, principalmente en la automotriz para aumentar el kilometraje de las flotillas por unidad de consumo de combustible, así como para desarrollar automóviles eléctricos económicos a base de baterías y celdas de combustible. En este sentido, una innovación revolucionaria serían las celdas de combustible que utilizan hidrógeno, cuya eficiencia es alta y cuya combustión no produce gases de efecto invernadero.

Gas natural

Las reservas mundiales probadas de gas natural también son grandes, 176 billones de metros cúbicos (10^6 Mm^3) como se ve en la tabla 7, cuyo contenido energético de 197,123 Mtoe es semejante a las reservas de petróleo, pero alcanzan para 78 años a la tasa actual de consumo (1). El 74.9% de estas reservas se concentran en el Medio Oriente y en Europa Oriental y Eurasia.

Tabla 7. - Reservas y recursos mundiales de gas		
IEA . World Energy Outlook 2011		
año 2010	reservas	recursos
región	10^6 Mm^3	
Norte América	4	136
Asia-Pacífico	16	116
Europa Oriental y Eurasia	58	235
Europa	5	44
Africa	13	66
Latinoamérica	7	73
Medio Oriente	76	141
Total mundial	179	811
Mtoe	197,123	893,030
años	78	352

Los recursos totales estimados son del orden de 811 billones de metros cúbicos, que equivalen a 893,030 Mtoe de energía primaria y alcanzarían para 352 años a la tasa de consumo actual. Estos recursos incluyen otros volúmenes convencionales recuperables y recursos no convencionales potencialmente recuperables como son

el metano de lechos de carbón, así como gas de formaciones de baja permeabilidad y de lutitas.

En contraste con las reservas probadas, los recursos totales de gas están más dispersos en distintas regiones del mundo, ya que en el Medio Oriente y en Europa Oriental y Eurasia se concentran el 46.4%, en Norteamérica y Latinoamérica hay otro 25.8% y entre Asia-Pacífico, Europa y África se reparten el restante 27.9%. Esta dispersión contrasta con la de los recursos de carbón y petróleo que se concentran más regionalmente.

La utilización del gas natural como combustible en la industria, en el transporte y para generar electricidad, así como en menor medida para uso residencial y comercial, ha crecido muy rápidamente en los últimos decenios, debido a que es un combustible mucho más limpio que el carbón, el combustóleo y los productos petrolíferos usados tradicionalmente. Además, en su combustión emite a la atmósfera menores cantidades de CO₂ por unidad de masa (2.75 t CO₂/t CH₄) que estos combustibles tradicionales, de tal manera que el uso del gas natural tiene ventajas ambientales muy favorables.

En el caso de la industria eléctrica, el gas natural se ha venido usando crecientemente en centrales de ciclo combinado, cuyas eficiencias termodinámicas son superiores al 50% y por lo tanto mayores que las de las termoeléctricas convencionales que utilizan combustóleo, gas natural y carbón.

Las innovaciones que se están desarrollando en relación con el uso del gas natural como energético primario, se refieren en primer lugar a la búsqueda de nuevos yacimientos no convencionales en las regiones árticas, en el fondo del mar y en las formaciones geológicas de lutitas.

También aumentan y mejoran las innovaciones en el diseño, construcción y operación de turbinas de gas de mayor eficiencia, mayor que el 45%, así como para utilizar el gas natural en procesos de cogeneración de electricidad y vapor, en los que por el efecto de la sinergia se pueden alcanzar eficiencias superiores al 70%.

Electricidad

Además de las innovaciones ya mencionadas en relación con el uso de los combustibles fósiles para generar electricidad, también hay importantes avances en las investigaciones para innovar en la transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica, a fin de operar eficientemente y optimizar el uso de los activos en cada segmento de la industria eléctrica.

En este sentido, las innovaciones se orientan hacia el diseño, construcción y operación de las redes eléctricas inteligentes interconectadas (3), que por un lado integren a las pequeñas centrales distribuidas, y por el otro lado incorporen a los consumidores industriales, comerciales y residenciales como agentes activos que modifiquen sus patrones de consumo en respuesta en tiempo real a los precios horarios de la energía eléctrica.

En consecuencia se podrán optimizar y aumentar las ventajas del despacho económico de las grandes centrales generadoras, el cual en muchos casos está sujeto a las restricciones de las líneas de transmisión para transferir la potencia y energía de una región a otra en los países de gran extensión territorial.

En ese contexto, los avances en el desarrollo de cables superconductores permitirán reducir enormemente las pérdidas en la conducción de la electricidad desde las centrales generadoras hasta los consumidores finales. También los avances en la electrónica de potencia y microelectrónica contribuirán a aumentar la confiabilidad y estabilidad en la operación de los grandes sistemas eléctricos interconectados, a fin de que sean autorreparables en el sentido de que anticipen, detecten y respondan a disturbios para evitar o reducir las interrupciones en el servicio.

Asimismo, las innovaciones en materia de almacenamiento de grandes bloques de energía eléctrica promoverán la proliferación de la generación distribuida de pequeñas centrales generadoras como las mini hidráulicas, las solares fotovoltaicas y eólicas, que puedan conectarse a las redes y entregarles excedentes cuando los haya o almacenarlos para usarlos en el autoabastecimiento cuando no haya agua, sol o viento.

Finalmente, del lado de los consumidores de todo tipo se están desarrollando esquemas tarifarios *ad hoc* que faciliten el despliegue de las tecnologías inteligentes necesarias para una efectiva administración de la demanda en las industrias, los comercios y las residencias, tales como son los sensores y sistemas de medición avanzados, las redes de comunicación y procesamiento de datos, así como los sistema de actuación y control.

Uranio y energía nuclear

Como se consigna en la tabla 8, las reservas mundiales de Uranio que se pueden extraer a un costo menor que 130 USD₂₀₁₁/kg se estiman en 5.327 millones de toneladas (4), que al ritmo actual de consumo de 68,000 t U natural anuales alcanzarían para 78 años de operación de los reactores nucleoelectricos que hay actualmente en el mundo, los cuales aprovechan el Uranio²³⁵ cuya concentración en el Uranio que existe en la naturaleza es de 0.7%. La mayor parte del Uranio natural utilizado se enriquece a niveles entre 4% y 5% Uranio²³⁵ para usarse en reactores de agua ligera.

Tabla 8.- Reservas y recursos mundiales de Uranio		
OECD, NEA and IAEA.		
Uranium 2011, Resources, Production and Demand		
		recursos
año 2011	reservas	adicionales
región	t U natural	
Norte América	676,100	569,733
Asia-Pacífico	1,661,000	1,166,172
Europa Oriental y Eurasia	1,553,800	801,187
Europa	0	0
Africa	961,100	587,537
Latinoamérica	276,700	151,335
Medio Oriente	33,800	0
otros países	164,000	0
Total mundial	5,326,500	3,275,964
Mtoe	55,065	33,867
años	78	48

La energía primaria contenida en las reservas son del orden de 55,605 Mtoe, que es menor respectivamente que la contenida en el petróleo y gas natural cuando las reservas se utilizan en reactores nucleoelectrónicos de la actual generación, pero se incrementa por un factor de 29 si las reservas se usan en los reactores reproductores que transforman el Uranio²³⁸ en Plutonio²³⁹, llamados también reactores de cría. Esto quiere decir que al aprovechar también el Uranio²³⁸ contenido en el Uranio natural, las reservas durarían hasta 2,262 años, de ahí la gran importancia que tiene para la humanidad el desarrollo tecnológico y la operación comercial de los reactores de cría.

Hay recursos adicionales por 3.276 millones de toneladas, que si se pueden explotar comercialmente alcanzarían para otros 48 años de consumo al ritmo actual.

Actualmente el uranio se utiliza principalmente para generar electricidad, pero también se están desarrollando reactores avanzados que utilizan Uranio, Plutonio o Torio, cuyo objetivo es desalar agua de mar o producir Hidrógeno para utilizarlo como combustible para el transporte y en otros usos industriales.

En el caso del ciclo del combustible nuclear, ya sea para uso eléctrico o energético, las principales innovaciones en curso tienen como objetivo incrementar el poder calorífico intrínseco por masa de Uranio irradiada en los reactores, lo que se conoce como "quemado del combustible", para aumentarlo por arriba de los 60 GWd/t U (gigawatt-día por tonelada de uranio) que se alcanzan ahora, así como para diseñar ciclos que sean resistentes a la proliferación de las armas nucleares.

También hay desarrollos innovadores en materia de exploración y explotación de yacimientos no convencionales de Uranio y Torio, así como en el diseño de procesos eficientes para el enriquecimiento, que elevan la concentración de Uranio²³⁵ en los combustibles y permiten incrementar el quemado de los combustibles al irradiarlos en los reactores.

Finalmente, se están desarrollando innovaciones muy importantes en los procesos e instalaciones para el manejo y reprocesamiento seguro y económico del combustible irradiado, que permitirán extraer y aprovechar el contenido energético del Uranio y Plutonio residuales, así como para el almacenamiento temporal y definitivo de los productos de fisión de manera segura, confiable, limpia y

económica en instalaciones superficiales y en formaciones geológicas estables, fuera de todo contacto con la biósfera.

Energías renovables

En el caso de las energías renovables, usualmente no se habla de reservas, ya que a pesar de que equívocamente se postula que son infinitas, hay limitaciones en cuanto a los sitios de la Tierra en los que científica, técnica, social y económicamente es factible aprovecharlas de manera sustentable y sostenible. No obstante lo anterior, se suele cuantificar el potencial teórico de la capacidad que pudiera instalarse si no existieran limitaciones.

En el caso de la energía eólica, las innovaciones se orientan al diseño, construcción y operación eficiente de turbinas eólicas que aprovechen vientos muy fuertes, como los que hay en el océano costa afuera, en montañas muy altas o en regiones terrestres de topografía muy favorable. También se están desarrollando turbinas que operen con vientos muy débiles, para usarlas en pequeña escala en zonas urbanas y para usos residenciales.

En el caso de la energía solar, las innovaciones se orientan a aumentar la eficiencia de conversión fotovoltaica a valores superiores al 20% actual, así como a reducir los costos de fabricación de paneles solares. También se orientan a mejorar los dispositivos de concentración de la radiación solar para usos eléctricos o térmicos intensivos en el calentamiento y desalación de agua, para el secado de alimentos y materiales, así como para usos industriales diversos.

Finalmente, en el caso de biomasa, las innovaciones se orientan hacia la gasificación y otras tecnologías distintas de la incineración, para aprovechar eficientemente y con menor impacto ambiental y social el contenido energético de los residuos forestales y agrícolas, de la basura municipal y de otros insumos biomásicos.

Perspectivas mundiales de las tecnologías energéticas

El documento de la IEA sobre las perspectivas de las tecnologías energéticas (ETP 2012) (5) examina las tendencias tecnológicas necesarias para evolucionar hacia los sistemas de energía limpia que son consistentes con los escenarios descritos anteriormente, en especial

el Escenario 450 que limita el crecimiento del promedio de la temperatura global en 2°C, comparada con los niveles preindustriales.

Conclusiones del ETP 2012

En ese contexto, en el ETP 2012 se examina la perspectiva energética mundial y los distintos escenarios planteados; revisa el progreso logrado en la adopción de las energías limpias; discute las políticas necesarias para promover la innovación tecnológica; y analiza los mecanismos de financiamiento para implementar la revolución energética limpia.

A continuación se enuncian las principales conclusiones del resumen ejecutivo:

- Aún se puede lograr un sistema energético sustentable, que puede traer amplios beneficios.
 - ✓ La tecnología puede y debe desempeñar un papel integrador en la transformación del sistema energético.
 - ✓ Las inversiones en energía limpia tiene sentido económico, ya que cada dólar adicional invertido puede generar tres dólares de ahorro futuro de energía en 2050.
 - ✓ La seguridad en el abasto energético y la mitigación del cambio climático son aliadas.
- A pesar del potencial tecnológico, el progreso de la energía limpia es muy lento.
 - ✓ Nueve de las diez tecnologías que tienen potencial para el ahorro energético y la reducción de emisiones de CO₂ han fallado en alcanzar los objetivos de implementación que se requieren para lograr la necesaria transición a un futuro bajo en carbono; algunas de las tecnologías con el mayor potencial han mostrado el menor progreso.
 - ✓ Desde 1980 la proporción de la inversión pública en investigación, desarrollo y demostración ha caído en 2/3 partes.
 - ✓ Los combustibles fósiles continuarán siendo los dominantes y la demanda continuará creciendo, perpetuando la infraestructura de alto carbono.
- La política energética debe abarcar al sistema energético completo.
 - ✓ Las tecnologías energéticas interaccionan entre sí y deben ser desarrolladas e implementadas conjuntamente.
 - ✓ Se requieren inversiones en una infraestructura energética más robusta e inteligente.

- ✓ La electricidad cuyo origen sean energéticos bajos en carbono es parte central de un sistema energético sustentable.
- ✓ Se debe lograr aprovechar el potencial de la eficiencia energética.
- El consumo energético será más balanceado, pero los combustibles fósiles no desaparecerán, aunque cambiará su papel.
 - ✓ Los primeros pasos importantes serán la reducción del uso del carbón y la mejora en la eficiencia de la generación carboeléctrica.
 - ✓ El gas natural y el petróleo permanecerán siendo importantes durante décadas para el sistema energético mundial.
 - ✓ La captura y almacenamiento del carbono permanecerán siendo críticos en el largo plazo.
- Los gobiernos deben desempeñar un papel decisivo para encauzar el cambio hacia las tecnologías eficientes y bajas en carbono.
 - ✓ La actuación fuerte de las políticas gubernamentales puede ayudar a que las tecnologías clave sean realmente competitivas y se usen ampliamente.
 - ✓ Sin embargo, los gobiernos solos no pueden lograr la transición y se requieren incentivos claros para los inversionistas, las empresas y los consumidores.
 - ✓ Los ejemplos del mundo real demuestran que la acción decisiva en políticas es un catalizador para el progreso.

Recomendaciones del ETP 2012

Las recomendaciones que abarcan a todos los temas tratados en el ETP 2012 y son la base para sustentar el futuro bajo en carbono, son:

- Se recomienda crear un clima a las inversiones que de confianza en el potencial de largo plazo de las tecnologías energéticas limpias.
- Se recomienda equilibrar el terreno de competencia entre sí de las tecnologías energéticas limpias.
- Se recomienda incrementar los esfuerzos para liberar el potencial de la eficiencia energética.
- Se recomienda acelerar la innovación energética y la acción pública en investigación, desarrollo y demostración.

Síntesis analítica de los temas del ETP 2012

A continuación se sintetizan los puntos sobresalientes tratados en detalle en la primera parte del extenso documento ETP 2012, referidos a la situación mundial y que son aplicables en su totalidad al caso de México.

La visión global

Los temas clave puestos en evidencia son que, sorprendentemente, un sistema energético bajo en carbono puede ser alcanzable hacia 2050, pero actualmente el mundo está fallando en aprovechar el potencial tecnológico y el talento de los científicos e ingenieros. Los gobiernos deben aprovechar las oportunidades para delinear una visión coherente para un futuro energético limpio, respaldada por metas claras y políticas creíbles y metas claras. También deben colaborar para lograrlo.

Las principales conclusiones son:

- Si persisten las tendencias actuales, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ casi se duplicarán hacia 2050.
- En el documento ETP 2012 se plasman tres futuros energéticos, que son dramáticamente diferentes entre sí.
- El progreso en el despliegue de tecnologías limpias ha sido muy lento y por etapas, poco a poco.
- Un sistema energético bajo en carbono probablemente puede lograr un mayor nivel de seguridad en el abasto.
- El costo para crear ahora sistemas energéticos bajos en carbono será compensado por los ahorros potenciales en combustible de futuras generaciones.
- El mayor reto para un futuro bajo en carbono es lograr el acuerdo sobre cómo compartir entre países y generaciones los desiguales costos y beneficios de las tecnologías limpias.
- Existen oportunidades sustantivas para incrementar entre sectores y tecnologías los ahorros de energía, la eficiencia y el conocimiento.
- Un sistema energético sustentable es un sistema más unificado e inteligente; las complejas y diversas tecnologías individuales tendrán que trabajar juntas.

El progreso de las energías limpias

Los temas clave puestos en evidencia son que, a pesar de que están disponibles muchas tecnologías de energía limpia, pocas han sido desarrolladas e implementadas con la rapidez necesaria para alcanzar los objetivos del escenario 2°C del ETP 2012. Para volver a la ruta correcta se requerirán acciones de política significativas y oportunas.

Las principales conclusiones son:

- La energía eólica ha crecido en promedio 27% anualmente durante la pasada década y la energía solar fotovoltaica ha crecido al 42% anual en promedio, aunque partió de un nivel muy pequeño.
- Las tecnologías con mayor potencial de ahorro energético y de emisiones de CO₂ son las que han mostrado el progreso más lento.
- Adicionalmente, el lograr que los planes se conviertan en realidad no será fácil, a pesar de que las metas gubernamentales para el parque vehicular (20 millones en 2020) son ambiciosas, al igual que la continuidad en muchos países de los planes gubernamentales para la expansión nucleoelectrónica.

Las oportunidades para las acciones de política son:

- Es crítico el apoyo gubernamental para aumentar la investigación, desarrollo y demostración tecnológica. Tienen un potencial muy significativo pero todavía se enfrentan a retos tecnológicos y económicos las prometedoras tecnologías de energías renovables como son la energía eólica fuera de la costa y la concentración solar para potencia, así como las tecnologías intensivas en capital como son la captura y secuestro de carbono y la gasificación integrada a ciclos combinados.
- Es necesaria una amplia acción de política para nivelar el campo de competencia de tecnologías energéticas maduras. Esto se puede lograr, por ejemplo, con terminar con los ineficientes subsidios a los combustibles fósiles y asegurar que los precios de la energía reflejen el verdadero costo, de manera que se tomen en cuenta completamente los impactos negativos y positivos de la producción y consumo de la energía, por ejemplo a través de un precio al carbono.

- La instrumentación de políticas enfocadas a apoyar el aprendizaje continuo y las reducciones de costo también ayudarán a las tecnologías disponibles para penetrar más rápido en los mercados. A pesar de que algunas tecnologías renovables ya empiezan a competir en condiciones de mercado y recursos adecuadas, la mayoría de las tecnologías limpias todavía cuestan más que las tecnologías fósiles dominantes.
- Se deben priorizar las políticas para instrumentar mejoras en la eficiencia energética.
 - ✓ En relación con el consumo de energía en edificios, las mejoras en la eficiencia del casco tendrán el mayor impacto en los ahorros, lo que se puede lograr mediante la observancia estricta de códigos y estándares integrados para el desempeño energético de edificios actuales y nuevos, remodelar y equipar los edificios actuales con las tecnologías disponibles de eficiencia energética.
 - ✓ En la industria, hay un gran potencial para los ahorros de energía y económicos, mediante el uso de las mejores tecnologías disponibles y la adopción de prácticas y sistemas de administración energética.
 - ✓ En el transporte, la mejora en la eficiencia del consumo de combustible será la acción prioritaria que ayudará a reducir las emisiones de CO₂ en la próxima década.

Políticas para promover la innovación tecnológica

Los temas clave puestos en evidencia son que para lograr las metas del escenario 2°C del ETP 2012, los gobiernos deben desempeñar un papel clave para que las tecnologías bajas en carbón pasen de ser meras aspiraciones para convertirse en realidades comerciales. El apoyo a la innovación tecnológica a cargo de los científicos e ingenieros será decisivo para que tales metas se logren.

Las políticas bien enfocadas, como la creación de estrategias energéticas nacionales para apoyar la investigación, el desarrollo y la utilización de las tecnologías conducirán a un sistema energético

más seguro, sostenible y asequible; ayudarán a estabilizar el clima global; y sustentarán el desarrollo económico de largo plazo.

Las principales conclusiones son que:

- En los países miembros de la IEA, las inversiones de los gobiernos para la investigación energética han estado decreciendo, como porcentaje del total de los presupuestos nacionales en investigación y desarrollo.
- En algunos casos, la ausencia de estrategias claras y coherentes que especifiquen prioridades para la investigación, desarrollo y demostración de tecnologías energéticas limpias individuales, puede representar un riesgo para la posterior utilización de tecnologías que son necesarias para lograr el escenario 2°C.
- Tecnologías que están en la etapa previa a la comercial, tales como la eólica fuera de la costa, concentración solar para potencia (CSP), captura y almacenamiento de carbono (CCS), así como la gasificación integrada a ciclos combinados (IGCC), parecen estar atoradas en la fase de demostración.
- Las patentes para tecnologías de energías renovables se incrementaron entre 1999 y 2008 por un factor de 4, encabezadas por las de solar fotovoltaica (PV) y viento.
- La madurez, modularidad y escalabilidad de la solar fotovoltaica y de la eólica en tierra, les ha permitido lograr mayor éxito en el entorno actual de negocios y financieros.
- El fijarle un precio al carbono sería una de las políticas fundamentales, pero simplemente no van a emerger por esta ruta la innovación adecuada en tecnologías bajas en carbono. El precio del carbono debería ser acompañado por paquetes de política tales como tarifas incentivadas u obligaciones comerciables, que promuevan una significativamente mayor utilización de tecnologías emergentes y, como consecuencia, se reduzcan los costos.
- En el diseño de políticas (ya sea en paquete o no) se deben tomar en cuenta cuidadosamente las interacciones entre políticas y se debe incorporar la flexibilidad de ajustarlas debido a cambios en el tiempo. Basados en las características de tecnologías comparables que comparten obstáculos similares para su desarrollo, utilización y difusión, algunas

combinaciones de instrumentos de políticas parecen tener más capacidad que otras para lograr el escenario 2°C en 2050.

La oportunidad para la acción de política es que:

- La acción gubernamental de política para promover las tecnologías bajas en carbono deberá incluir el desarrollo de una estrategia energética nacional con prioridades claras, mayor apoyo a la investigación y desarrollo a cargo de científicos e ingenieros, creación de mecanismos para fondar la demostración y pronta utilización de tecnologías intensivas en capital, aseguramiento de demanda de tecnologías con energías limpias, promoción de la inversión privada en la innovación, y refuerzo de la colaboración internacional.

El financiamiento de la revolución energética limpia

Los temas clave puestos en evidencia son que se puede lograr la transición a un sector energético bajo en carbono y hay grandes oportunidades de negocios. Sin embargo, la confianza de los inversionistas es muy baja debido al incierto marco de políticas. El financiamiento del sector privado solo llegará a los niveles requeridos si los gobiernos crean y mantienen un ambiente de negocios de apoyo a las tecnologías bajas en carbono.

Las principales conclusiones son que:

- Para lograr un sector energético bajo en carbono se requieren inversiones hasta 2050 por USD 140 billones (140×10^{12} dólares). Esto representa USD 36 billones más que en un escenario en el que no es prioritario controlar las emisiones de carbono, esto es, se requieren inversiones adicionales hasta 2050 por USD 1 billones anuales, que son equivalentes a USD 130 por persona extras anuales.
- En el curso de la próxima década, se estima la necesidad de invertir USD 2 billones anuales en el sector eléctrico, del transporte, de la industria y la edificación. Las inversiones adicionales para las tecnologías bajas en carbono son casi USD 5 billones, o sea USD 500 mil millones anuales. Más de la mitad de estas inversiones adicionales se requieren en el sector de la edificación.

- Las reducciones en las erogaciones por los combustibles compensarán ampliamente las mayores inversiones en las tecnologías bajas en carbono. Se estima que entre 2010 y 2050 los ahorros en combustibles serían USD 100 billones, es decir ahorros netos corrientes de USD 60 billones o sea un promedio de USD 1.5 billones anuales. Aún si se utiliza una tasa de descuento de 10% habría ahorros netos de USD 5 billones, lo que resalta la accesibilidad de moverse hacia un sector energético bajo en carbono.
- La transición hacia un sector energético bajo en carbono logra grandes beneficios. No solo se reduce daño ambiental, sino que también mejora globalmente la seguridad del abasto ya que reduce la dependencia en los combustibles fósiles. Con el cambio de energías renovables en lugar de combustibles fósiles, el gasto en combustibles declinará drásticamente. El balance de la cuenta corriente de los países que importan petróleo y gas mejorará, al liberar reservas de divisas para otros usos.
- A pesar de que en los mercados financieros hay disponible capital, el financiamiento para las tecnologías energéticas bajas en carbono será un reto. Son escasos los fondos de capital para arranque temprano de compañías que desarrollan nuevas tecnologías y se enfrentan a la competencia de otros sectores.
- Las incertidumbres en las políticas nacionales regulatorias y de esquemas de apoyo continúan siendo el obstáculo más común para acceder a mayor financiamiento privado para las tecnologías bajas en carbono. La falla en implantar las políticas y mecanismos de mercado adecuados puede alentar continuar invirtiendo en bienes que son vulnerables al cambio climático y se corre el riesgo de perpetuar las instalaciones intensivas en carbono.

Las oportunidades para las acciones de política son:

- Los gobiernos deben crear y mantener un ambiente de negocios que apoye el desarrollo de las tecnologías limpias y permita lograr sólidos retornos al capital. Esto atraería a los inversionistas y a las compañías hacia las tecnologías bajas en carbono y los alejaría de

- inversiones energéticas tradicionales basadas en combustibles fósiles.
- Se pagaría un precio muy elevado si se falla en evaluar adecuadamente los riesgos del cambio climático. Los gobiernos y los inversionistas deberían trabajar juntos para entender mejor los costos económicos y financieros de diferir las acciones para reducir y mitigar el cambio climático.

Conclusiones sobre la situación mundial

En el futuro previsible el mundo no se apartará del uso intensivo de los combustibles fósiles para satisfacer sus demandas energéticas tradicionales y se proyecta que en 2035 el carbón, el petróleo y el gas natural en el escenario de nuevas políticas aún aportarían el 74.7% de la oferta total mundial de energía primaria, cuando actualmente representan el 80.9% (1).

En este escenario, las energías alternas amigables con el medio ambiente, como son la nuclear, la hidráulica, la geotérmica, la eólica, la solar y la biomásica sólo aportarían conjuntamente el otro 25.3% de la oferta total en 2035, cuando ahora representan el 19.1%.

Entonces, no se vislumbra que en ese plazo en el escenario de nuevas políticas todavía habría suficientes avances en la diversificación de las fuentes primarias de energía para el abasto de la demanda mundial. Sólo en el Escenario 450 la contribución de los combustibles fósiles bajaría a 61.8% y la de las energías alternas subiría a 32.8%.

No obstante lo anterior, debido a la muy alta volatilidad de los precios de los energéticos fósiles, a conflictos geopolíticos para acceder a ellos y a los graves impactos al medio ambiente local y global causados por éstos desde su extracción, durante su transporte y transformación, así como durante su distribución y hasta su consumo final, los energéticos alternos tenderán a aumentar su contribución a la oferta mundial de energía primaria, para desplazar paulatina y sostenidamente a los combustibles fósiles.

En esa evolución de la oferta energética mundial, las innovaciones que se están produciendo en todas las áreas de la ingeniería y la contribución de los científicos e ingenieros serán fundamentales para aumentar la eficiencia, la confiabilidad, la limpieza y la economía del uso de las energías primarias distintas de los combustibles fósiles, a fin de que puedan penetrar en los mercados mundiales.

Situación en México

Introducción

El oportuno abasto de la energía limpia y sustentable que demanda la actividad industrial, comercial, agrícola, de servicios y residencial a precios competitivos y con la calidad requerida, deberá ser uno de los motores del crecimiento económico de México en las próximas décadas, lo que requiere un cambio de estrategia para privilegiar el uso de las energías renovables y la energía nuclear y desplazar a los combustibles fósiles.

En este documento se realiza una breve síntesis analítica de las cifras de producción, comercio exterior, oferta bruta y consumo nacional de energía primaria en México en 2010, así como de las emisiones de CO₂ a la atmósfera por el consumo energético. Adicionalmente, se examinan la visión, ejes rectores, objetivos y metas de la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026.

Finalmente, se obtienen conclusiones sobre la situación actual de México en materia energética y sobre las fortalezas, oportunidades y desafíos del sector, así como las amenazas que enfrenta México a futuro de continuar con tan elevada dependencia de los hidrocarburos como se desprenda de las cifras analizadas.

Nota metodológica

El Artículo 5º de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (6) estipula que en México, el Sistema General de Unidades de Medida que incluye las unidades básicas, suplementarias y las derivadas del Sistema Internacional de Unidades (SI), es el único legal y de uso obligatorio en México, por lo que en todas sus estadísticas y publicaciones la Secretaría de Energía (7) utiliza como unidad de energía al PetaJoule (PJ), que equivale a 2.388×10^{-2} Mtoe.

Por ello en las tablas siguientes sobre la producción, oferta y demanda de energía primaria en nuestro país se presentan las cifras en las unidades legales en México y en las que utiliza la Agencia Internacional de la Energía, a fin de poder comparar las cifras nacionales con las internacionales (1), (7), (9).

Producción de energía primaria

La producción nacional de energía primaria en 2010 fue de 220.9 Mtoe y sólo contribuyó a satisfacer el 1.8% de la demanda mundial que fue de 12,132 Mtoe, por lo queda claro que nuestro país es un actor menor en el escenario energético mundial, a pesar de ser un gran exportador de petróleo crudo.

En la tabla 9 se presentan las cifras de la producción nacional de energía primaria en México en 2010 (7), en la que resalta que todavía la producción está orientada primordialmente a la producción de hidrocarburos (90.2%), en su mayor parte petróleo crudo y condensados (66.0%) y en menor medida gas natural 24.3%). El carbón contribuye con un 2.2%.

La energía primaria proveniente de la nucleoenergía, hidroenergía, geoenergía, energía solar y energía eólica sólo representa el 3.8% del total de la producción, mientras que la biomasa contribuye con el 3.8% restante.

Tabla 9.- Producción de energía primaria en México

Balance nacional de energía 2010, SENER			
1 PJ = 2.388x10 ⁻² Mtoe			
	año 2010		
energético	PJ	Mtoe	%
Carbón	202.590	4.838	2.2%
Petróleo crudo	6,008.640	143.486	65.0%
Condensados	92.510	2.209	1.0%
Gas natural	2,247.010	53.659	24.3%
Hidrocarburos	8,348.160	199.354	90.2%
Nucleoenergía	63.940	1.527	0.7%
Hidroenergía	132.260	3.158	1.4%
Geoenergía	149.940	3.581	1.6%
Energía solar	4.910	0.117	0.1%
Energía eólica	0.600	0.014	0.0%
Renovables	287.710	6.871	3.1%
Bagazo de caña	88.970	2.125	1.0%
Leña	259.310	6.192	2.8%
Biomasa	348.280	8.317	3.8%
Total	9,250.680	220.906	100.0%

El total de los combustibles fósiles y biomasa, que en su combustión emiten CO₂ a la atmósfera, es un alarmante 96.2% en México, mientras que a nivel mundial el porcentaje es 91.1%. Las energías alternas que no contribuyen al efecto invernadero representan un bajo 3.8% del total de la producción de energía primaria en México, mientras que a nivel mundial ellas contribuyen con un 8.9%.

Entonces, quedará muy claro que en México se requieren acciones firmes para que con la aportación de los científicos e ingenieros aumente sensiblemente la contribución a la producción energética nacional de todas las energías limpias que contempla la Estrategia Nacional de Energía, incluida la nucleoenergía, hidroenergía, geoenergía, energía eólica, energía solar y energía oceánica, ya sea para la generación de electricidad, la desalación de agua de mar y la producción de Hidrógeno, así como para otros usos industriales, residenciales, comerciales, de servicios públicos y agrícolas.

Comercio exterior de energía primaria

Es muy conocida la alta dependencia que tienen las finanzas públicas de la divisas que se obtienen por las exportaciones de petróleo, aunque debido a la gran volatilidad de los precios del petróleo en los últimos años los ingresos a las arcas nacionales por este concepto son muy poco previsibles.

De las cifras del comercio exterior de energía primaria de México, en 2010 consignadas en la tabla 10 se puede inferir que México exportaba el 52.7% de su producción de petróleo crudo, mientras que importaba una cantidad significativa de carbón.

Tabla 10.- Comercio exterior de energía primaria de México						
Balance nacional de energía 2010, SENER						
1 PJ = 2.388x10 ⁻² Mtoe						
	año 2010					
	exportaciones		importaciones		saldo neto	
energético	PJ	Mtoe	PJ	Mtoe	PJ	Mtoe
Carbón	0.120	0.003	201.210	4.805	-201.090	-4.802
Petróleo crudo	3,167.720	75.645	0.000	0.000	3,167.720	75.645
total	3,167.840	75.648	201.210	4.805	2,966.630	70.843

Por otro lado, con la esperada declinación paulatina de la producción nacional de petróleo crudo, debida al agotamiento de los campos en explotación y a la escasez de capitales para enfrentar las elevadas inversiones que se requieren para explorar y explotar otros campos en tierra y en el mar, en el mediano plazo se reducirá sensiblemente la capacidad exportadora de petróleo crudo de México para destinar la producción a atender prioritariamente la demanda nacional.

Oferta interna bruta de energía primaria

El balance de la oferta interna bruta de energía primaria en México se obtiene al sumar la producción con el gas proveniente de otras fuentes, así como con las importaciones, y luego restarles las exportaciones, la variación de inventarios y la energía no aprovechada.

Tabla 11.- Oferta interna bruta de energía primaria en México			
Balance nacional de energía 2010, SENER			
1 PJ = 2.388x10 ⁻² Mtoe			
	año 2010		
origen	PJ	Mtoe	%
Producción	9,250.670	220.906	113.5%
De otras fuentes	733.280	17.511	9.0%
Importación	1,987.270	47.456	24.4%
Variación de inventarios	-28.130	-0.672	-0.3%
Exportación	-3,620.780	-86.464	-44.4%
Energía no aprovechada	-170.370	-4.068	-2.1%
subtotal	-1,832.010	-43.748	-22.5%
Total	8,151.940	194.668	100.0%

El resultado neto es que, de la producción nacional de 220.906 Mtoe en 2010, la oferta interna bruta se redujo a 194.668 Mtoe debido principalmente a la exportación de petróleo por 86.464 Mtoe, como se puede ver en la tabla 11.

Adicionalmente, en la tabla 12 se desglosa la oferta bruta interna de energía primaria por tipo de energético y destaca que el carbón, los hidrocarburos y la biomasa mantienen un porcentaje muy alto del total (91.5%), mientras que la nucleenergía y las renovables contribuyen muy poco (8.5%).

Es muy significativo que para un país de desarrollo intermedio como lo es México, miembro de la OCDE desde 1992, la leña represente todavía un 3.2% de la oferta interna bruta de energía primaria, que es similar al porcentaje que aportan conjuntamente las fuentes limpias que no emiten gases de efecto invernadero como son la nucleenergía, la hidroenergía, la geoenergía, la energía solar y la energía eólica (4.3%).

Tabla 12.- Oferta interna bruta por tipo de energía primaria en México			
Balance nacional de energía 2010, SENER			
1 PJ = 2.388x10 ⁻² Mtoe			
	año 2010		
energético	PJ	Mtoe	%
Carbón	407.130	9.722	5.0%
Petróleo crudo y petrolíferos	3,649.000	87.138	44.8%
Gas natural y condensados	3,400.290	81.199	41.7%
Hidrocarburos	7,049.290	168.337	86.5%
Nucleoenergía	63.940	1.527	0.8%
Renovables	631.580	15.082	7.7%
Total	8,151.940	194.668	100.0%

Este hecho señala muy acertadamente el potencial que existe en nuestro país para sustituir la quema de leña que se da sobre todo en el medio rural, por el uso en pequeña escala de plantas hidráulicas, eólicas y solares descentralizadas.

Energía secundaria y consumo nacional

Las importaciones de gas natural, destinadas a la industria eléctrica y a la industria de la transformación, así como en menor escala para el consumo residencial y comercial, son de importancia estratégica para la seguridad energética nacional ya que, salvo unas pequeñas importaciones por vía marítima de gas natural licuado (GNL), la mayoría provienen de los Estados Unidos.

En la tabla 13 se desglosa el balance del comercio exterior de energía secundaria, en la que destaca la importancia que tiene para el abasto nacional la importación de gasolinas y naftas, gas seco, diesel, gas licuado y en menor medida coque de petróleo y combustóleo, debido a la insuficiencia de la producción de dichos energéticos en México por la baja o nula inversión que ha habido en tales rubros desde hace muchos años.

Tabla 13.- Comercio exterior de energía secundaria de México						
Balance nacional de energía 2010, SENER						
1 PJ = 2.388x10 ⁻² Mtoe						
	año 2010					
	exportaciones		importaciones		saldo neto	
energético	PJ	Mtoe	PJ	Mtoe	PJ	Mtoe
Gasolinas y naftas	125.950	3.008	761.700	18.189	-635.750	-15.182
Gas seco	29.190	0.697	521.930	12.464	-492.740	-11.767
Diesel	0.860	0.021	223.980	5.349	-223.120	-5.328
Gas licuado	0.140	0.003	122.370	2.922	-122.230	-2.919
Coque de petróleo	1.400	0.033	83.180	1.986	-81.780	-1.953
Combustóleo	284.040	6.783	53.040	1.267	231.000	5.516
Coque de carbón	0.020	0.000	10.370	0.248	-10.350	-0.247
Querosenos	2.660	0.064	8.050	0.192	-5.390	-0.129
Electricidad	4.860	0.116	1.430	0.034	3.430	0.082
Productos no energéticos	3.820	0.091	0.000	0.000	3.820	0.091
Total	452.940	10.816	1,786.050	42.651	-1,333.110	-31.835

El consumo nacional de energía es equivalente a la suma de la oferta interna bruta de 194.668 Mtoe, cuyo desglose se muestra en la tabla 14.

Tabla 14.- Consumo nacional de energía en México			
Balance nacional de energía 2010, SENER			
1 PJ = 2.388x10 ⁻² Mtoe			
	año 2010		
sector	PJ	Mtoe	%
Consumo energético	4,677.790	111.706	57.4%
Consumo no energético	262.240	6.262	3.2%
Consumo final total	4,940.030	117.968	60.6%
Consumo por transformación	1,582.140	37.782	19.4%
Consumo propio	845.710	20.196	10.4%
Pérdidas por distribución	190.620	4.552	2.3%
Consumo del sector energético	2,618.470	62.529	32.1%
Recirculaciones	561.190	13.401	6.9%
Diferencia estadística	32.250	0.770	0.4%
Consumo nacional	8,151.940	194.668	100.0%

Destaca que el sector energético, Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), son los principales consumidores

de energía en México (32.1%). El sector transporte también es un gran consumidor que junto con los sectores industrial, residencial, comercial y de servicios públicos, así como el agropecuario consumen un porcentaje significativo (57.4%). Para fines del consumo no energético, la petroquímica de PEMEX y otras ramas económicas representan sólo una pequeña parte (3.2%). Las recirculaciones en el sistema de producción transporte y distribución representan el 6.9%

En el Balance Nacional de Energía 2010 no se destaca la eficiencia y el ahorro de energía, pero en todos los sectores consumidores de energía en México hay oportunidades de mejoría en estos rubros, que son las más efectivas y económicas para reducir el consumo y el impacto al medio ambiente.

Emisiones de CO₂ a la atmósfera por el consumo de energía

En la tabla 15 se listan por sector de consumo y por tipo de energético las emisiones de CO₂ a la atmósfera en 2010, debidas al consumo de energía en México.

Tabla 15.- Emisiones de CO₂ en 2010 por consumo energético en México		
Balance nacional de energía 2010, SENER		
1 PJ = 2.388x10⁻² Mtoe		
sector de consumo	Mt de CO₂	%
Transporte	156.810	38.5%
Generación de electricidad	114.859	28.2%
Industrial	60.280	14.8%
Industria generadora de ene	42.359	10.4%
Residencial	19.958	4.9%
Comercial y público	4.888	1.2%
Agropecuario	8.146	2.0%
total	407.300	100.0%
tipo de energético	Mt de CO₂	%
Crudo y petrolíferos	253.504	61.8%
Gas natural y condensados	118.958	29.0%
Carbón y coque de carbón	37.738	9.2%
total	410.200	100.0%

El sector del transporte fue el mayor emisor con el 38.5% del total de las 407.3 millones de toneladas arrojadas a la atmósfera en 2010 y en seguida se ubicaron el sector eléctrico con 28.2%, el sector industrial con 14.8% y la industria generadora de energía con 10.4%, que en conjunto con el transporte acumularon el 91.9% del total de emisiones, En mucho menor grado, los sectores residencial, comercial y de servicios públicos, así como el agropecuario emitieron el 8.1% restante de CO₂ debido al consumo energético.

Por tipo de energético, el consumo de crudo y petrolíferos fue el causante de 61.8% de la emisiones, mientras que el gas natural y condensados fueron responsables del 29.0% y el carbón y coque de carbón del otro 9.2%.

Las mayores oportunidades de reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera se dan en el sector eléctrico, debido a la diversidad de tecnologías que existen comercialmente para sustituir con gas natural el consumo de carbón y combustóleo, además de poder incrementar el uso de la energía nuclear, la hidroenergía, la geoenergía, la energía eólica y la energía solar.

Estrategia Nacional de Energía 2012-2026

De acuerdo con la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF) la Secretaría de Energía (SENER) debe establecer y conducir la política energética del país, supervisar su cumplimiento con prioridad en la seguridad y la diversificación energética, el ahorro de energía y la protección del medio ambiente. En este contexto, el Ejecutivo Federal ha enviado de manera anual al Congreso de la Unión la Estrategia Nacional de Energía (ENE), que es un instrumento prospectivo con un horizonte de quince años, que da a conocer a los poderes de la Unión y a los sectores social y privado la visión del sector energético en el mediano y largo plazo.

El Consejo Nacional de Energía (CNE) tiene una participación importante en la formulación de la ENE, ya que entre sus funciones están las siguientes: proponer a la SENER criterios y elementos de política energética; apoyar a la SENER en el diseño de la planeación energética a mediano y largo plazos; y participar en la elaboración de la ENE.

De manera relevante, la participación de Petróleos Mexicanos en el CNE se basa en el Artículo 4º bis de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, y la participación de la Comisión Federal de Electricidad se basa en el Artículo 31 bis de la Ley de Servicio

Público de Energía Eléctrica. Las disposiciones de estos artículos son criterios que se incorporan en la ENE.

En consecuencia, en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 (ENE_2012-2026) (8), con un horizonte de 15 años se delinea el rumbo del sector energético mexicano, sustentado en un ejercicio integral de planeación que recaba información de las entidades paraestatales y órganos administrativos desconcentrados que lo forman.

Visión a 2026 de la Estrategia Nacional de Energía

La ambiciosa visión a 2026 que contempla la ENE_2012-2026 es aquella en que el sector energético:

- ✓ Opera con políticas públicas y un marco legal que el permite contar con una oferta energética diversificada, suficiente, continua, de alta calidad y a precios competitivos;
- ✓ Maximiza el valor económico de los recursos nacionales y la renta energética en beneficio de la sociedad mexicana, asegura al mismo tiempo un desarrollo sostenible en términos económicos, sociales y ambientales;
- ✓ Desarrolla y asimila las tecnologías adecuadas y promueve el desarrollo de los recursos tecnológicos y humanos necesarios;
- ✓ Promueve el desarrollo de mercados nacionales eficientes y participa exitosamente en los mercados internacionales, en los que las empresas del estado son competitivas, eficientes financiera y operativamente, con capacidad de autogestión, y sujetas a transparencia y rendición de cuentas;
- ✓ Brinda a la población de México acceso pleno a los insumos energéticos que requiere, a través de empresas que operan dentro de un marco legal y regulatorio que promueve la competitividad del sector y en el que el cuidado del medio ambiente juega un papel fundamental.

Ejes rectores de la Estrategia Nacional de Energía

La SENER opina que la visión a 2026 de la ENE no solamente es deseable, sino también factible y alcanzable, para lo cual considera tres ejes rectores fundamentales de la política energética del país: seguridad energética; eficiencia económica y productiva; y sustentabilidad ambiental.

Los principales elementos de los ejes rectores, congruentes con la visión a 2026, son:

Seguridad energética

- ✓ Incrementar la disponibilidad y diversificar el uso de energéticos, asegurar la infraestructura para un suministro eficiente, confiable, a precios competitivos y de alta calidad;
- ✓ Satisfacer las necesidades energéticas básicas de la población presente y futura; y
- ✓ Desarrollar las capacidades humanas y tecnológicas para la producción y el aprovechamiento eficiente de la energía.

Eficiencia económica y productiva

- ✓ Proveer la energía demandada por el país al menor costo posible;
- ✓ Garantizar una oferta suficiente, continua, de alta calidad y a precios competitivos;
- ✓ Aprovechar de manera eficiente los recursos energéticos;
- ✓ Promover que las empresas del estado en el sector energético sean competitivas, eficientes financiera y operativamente, con capacidad de autogestión y sujetas a transparencia y rendición de cuentas;
- ✓ Asegurar la competitividad internacional, a fin de que el mercado nacional se pueda beneficiar del vínculo con los mercados internacionales;
- ✓ Alcanzar y mantener estándares internacionales de seguridad industrial; y
- ✓ Desarrollar proyectos de inversión en infraestructura y adoptar en ellos las mejores prácticas.

Sustentabilidad ambiental

- ✓ Reducir de manera progresiva los impactos ambientales asociados a la producción y consumo de energía;
- ✓ Hacer uso racional de recurso hídrico y de suelos en el sector energético; y
- ✓ Realizar acciones para remediar los impactos ambientales en zonas afectadas por las actividades relacionadas con la producción y consumo de energéticos.

Objetivos y metas de la Estrategia Nacional de Energía

Basados en el diagnóstico de la situación actual del sector, en el reconocimiento de los retos y oportunidades, así como las múltiples líneas de acción necesarias para enfrentarlos, los objetivos y metas asociados a los ejes rectores que plantea la ENE para 2026, son:

- **Restituir reservas, incrementar la producción de crudo y la de gas natural:**
 - ✓ Incrementar y mantener un nivel de restitución de reservas probadas 1P superior a 100%, considerar la plataforma de producción;
 - ✓ Alcanzar un nivel de producción de petróleo crudo de 3 millones 354 mil barriles diarios;
 - ✓ Incrementar la producción neta de gas natural a 11 472 millones de pies cúbicos diarios.

- **Diversificar las fuentes de energía, y dar prioridad al incremento en la participación de tecnologías no fósiles:**
 - ✓ Incrementar la participación de las fuentes no fósiles en la generación de electricidad a 35%.

- **Incrementar los niveles de eficiencia en el consumo de energía en todos los sectores:**
 - ✓ Lograr un ahorro de energía de 15% respecto a la proyección de la línea base del consumo nacional de energía.

- **Reducir el impacto ambiental del sector energético:**
 - ✓ Lograr una disminución en las emisiones de CO₂ del sector energético de 51 millones 200 mil toneladas anuales respecto del escenario inercial;
 - ✓ Incrementar el aprovechamiento del gas natural, en línea con los estándares internacionales.

- **Operar de forma eficiente, confiable y segura la infraestructura energética:**
 - ✓ Llevar al sistema nacional de refinación del cuarto al segundo cuartil de desempeño operativo respecto a estándares internacionales;
 - ✓ Disminuir las pérdidas de electricidad a niveles comparables con estándares internacionales;
 - ✓ Disminuir el margen de reserva de capacidad de generación eléctrica a un nivel de 13%.

- **Fortalecer y modernizar la infraestructura del sector energético:**
 - ✓ Incrementar el volumen físico de transporte de gas natural a 7 833 millones de metros cúbicos;
 - ✓ Lograr un incremento de 2.1% de la red de transmisión del sistema eléctrico.

- **Impulsar el desarrollo de la industria petroquímica nacional:**
 - ✓ Incrementar la capacidad de producción de petroquímicos a 22 millones 562 mil toneladas anuales.

Las fuentes no fósiles en la matriz de energía primaria

La Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 plantea dos escenarios, llamados respectivamente inercial y ENEnergía, a partir de los cuales es posible definir la evolución de la matriz energética.

En la tabla 16 se muestran las cifras de la evolución de 1999 a 2010 y la esperada hasta 2026 de la participación de las distintas fuentes en la matriz de producción de energía primaria en ese período de 27 años.

Tabla 16.- Evolución de la participación de las fuentes no fósiles dentro de la matriz de producción de energía primaria								
SENER: Estrategia Nacional de Energía 2012-2026								
	1999		2010		2026			
					inercial		ENEnergía	
energía primaria	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%
carbón	186.66	2.0%	185.02	2.0%	221.34	2.0%	273.28	2.0%
petróleo crudo	6,346.44	68.0%	6,013.15	65.0%	6,640.20	60.0%	7,788.48	57.0%
gas natural	2,053.26	22.0%	2,312.75	25.0%	3,209.43	29.0%	4,235.84	31.0%
energías no fósiles	746.64	8.0%	740.08	8.0%	996.03	9.0%	1,366.40	10.0%
total	9,333.00	100.0%	9,251.00	100.0%	11,067.00	100.0%	13,664.00	100.0%

En primer lugar, se puede observar que en el escenario de crecimiento inercial la participación de las fuentes no fósiles aumentaría ligeramente de 8.0% en 2010 a 9.0% en 2026, pero si se logran los objetivos de la ENEnergía a 2026 la participación habría aumentado al 10%. En ambos escenarios la participación sería marginal comparada con la de las fuentes fósiles, que ronda el 90%.

En cambio, la participación del carbón se mantendría en 2.0% en ambos escenarios, mientras que la del petróleo crudo tendería a bajar de 65.0% en 2010 a 60.0% en 2026 en el escenario inercial y a 57.0% en el escenario ENEnergía. A su vez, la participación del gas natural aumentaría de 25.0% en 2010 a 29.0% en 2026 en el inercial y a 31.0% en el ENEnergía.

En cualquiera de los dos escenarios en 2026 baja sustantivamente la participación del petróleo crudo, que se sustituye principalmente por gas natural y en menor grado por energías no fósiles, cuya contribución seguiría siendo marginal, cercana al 10%.

Como se puede observar en la tabla 17, la situación no sería muy diferente en la evolución de la participación de las fuentes no fósiles a la oferta interna bruta de energía primaria, ya que, de 9.0% en 2010, en el escenario inercial disminuiría en 2026 a 8.0% y aumentaría a 10.5% en el escenario ENEnergía.

Tabla 17.- Evolución de la participación de las fuentes no fósiles en la oferta interna bruta de energía primaria								
SENER: Estrategia Nacional de Energía 2012-2026								
	1999		2010		2026			
	PJ	%	PJ	%	inercial		ENEnergía	
energía primaria					PJ	%	PJ	%
carbón	257.28	4.0%	407.60	5.0%	471.68	4.0%	466.00	4.0%
petróleo crudo	3,280.32	51.0%	3,627.64	44.5%	5,306.40	45.0%	4,543.50	39.0%
gas natural	2,186.88	34.0%	3,383.08	41.5%	5,070.56	43.0%	5,417.25	46.5%
energías no fósiles	707.52	11.0%	733.68	9.0%	943.36	8.0%	1,223.25	10.5%
total	6,432.00	100.0%	8,152.00	100.0%	11,792.00	100.0%	11,650.00	100.0%

La diferencia sustancial con los dos escenarios de producción de energía primaria a 2026 radica en que, al excluir las exportaciones de petróleo crudo, en la evolución inercial de la oferta interna bruta la participación del gas natural en 2026 es semejante a la del petróleo crudo y en el escenario ENEnergía es superior en 7.5%. La contribución del carbón a la oferta interna bruta es ligeramente mayor que en el caso de producción de energía primaria.

Las fuentes no fósiles en la generación bruta de electricidad

En 2011, la capacidad efectiva de generación en el sistema eléctrico era de 61,770 MW de los cuales las tecnologías no fósiles contribuían con 15,163 MW (24.5%) y las fósiles con 46,607 MW (75.5%). En ese año, la generación bruta de electricidad fue de 258,128 GWh, de los cuales 51,626 GWh (20%) fueron producidos con fuentes no fósiles y los restantes 206,502 GWh (80%) con fuentes fósiles (8).

En la tabla 18 se muestran los escenarios inercial y ENEnergía de crecimiento de la demanda total de electricidad en el período de 2012 a

2026. Se observa que en el escenario inercial la tmca sería de 3.9% y en el escenario ENEnergía sería de 3.3%. En este caso, debido al efecto conjunto del logro de los objetivos de la estrategia, año con año habría ahorros respecto a la demanda total de electricidad del escenario inercial. Ya en 2012 habría un 0.4% de ahorro, que llegaría a ser 7.4% en 2026; los 33 TWh anuales ahorrados en este año serían equivalentes a 3 veces la generación actual de las dos unidades de la central Laguna Verde.

Tabla 18.- Escenarios de evolución de la demanda total de electricidad				
SENER: Estrategia Nacional de Energía 2012-2026				
	inercial	ENEnergía	Ahorro	
año	TWh			%
2012	262	261	1	0.4%
2013	269	267	2	0.7%
2014	276	273	3	1.1%
2015	282	279	3	1.1%
2016	290	286	4	1.4%
2017	299	294	5	1.7%
2018	313	307	6	1.9%
2019	325	317	8	2.5%
2020	340	328	12	3.5%
2021	355	340	15	4.2%
2022	371	352	19	5.1%
2023	388	366	22	5.7%
2024	407	380	27	6.6%
2025	425	393	32	7.5%
2026	445	412	33	7.4%
tmca	3.9%	3.3%		

Como se muestra en la tabla 19, en un escenario de crecimiento inercial de la generación bruta, en 2026 la generación con fuentes fósiles sería de 358,299 GWh (74.7%), de los cuales 21,105 GWh (4.4%) corresponderían a nueva generación limpia (NGL¹) con ciclos combinados y carboeléctricas con captura y secuestro de CO₂. Los restantes 121,351 GWh (25.3%) se generarían con fuentes no fósiles, de los cuales 28.299 GWh (5.9%) corresponderían a nueva generación limpia (NGL²) con nucleoeeléctricas, eoloeeléctricas, solares o con capacidad importada.

Tabla 19.- Escenarios de capacidad instalada y factor de planta del sistema eléctrico nacional en 2026. así como generación bruta por tipo de tecnología									
SENER: Estrategia Nacional de Energía 2012-2026									
	inercial		ENenergía 1		ENenergía 2		ENenergía 3		
capacidad, MW	93,502		119,072		93,502		112,296		
factor de planta, %	58.6%		46.0%		58.6%		48.8%		
tipo de tecnología	inercial		ENenergía 1		ENenergía 2		ENenergía 3		
fósil	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	
ciclo combinado	281,555	58.7%	226,874	47.3%	235,029	49.0%	228,793	47.7%	
turbogás	2,398	0.5%	2,398	0.5%	2,398	0.5%	2,398	0.5%	
combustión interna	1,439	0.3%	1,439	0.3%	1,439	0.3%	1,439	0.3%	
carboeléctrica	40,291	8.4%	40,291	8.4%	40,291	8.4%	40,291	8.4%	
termoeléctrica convencional	9,113	1.9%	9,113	1.9%	9,113	1.9%	9,113	1.9%	
coque	2,398	0.5%	2,398	0.5%	2,398	0.5%	2,398	0.5%	
NGL ¹	21,105	4.4%							
carboeléctrica limpia ³			21,105	4.4%	21,105	4.4%	21,105	4.4%	
turbogás de respaldo			8,634	1.8%	0	0.0%	6,235	1.3%	
subtotal	358,299	74.7%	312,252	65.1%	311,773	65.0%	311,772	65.0%	
	inercial		ENenergía 1		ENenergía 2		ENenergía 3		
no fósil	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	
hidroeléctrica	44,128	9.2%	44,128	9.2%	44,128	9.2%	44,128	9.2%	
NGL ²	28,299	5.9%							
eoloeléctrica	25,421	5.3%	99,767	20.8%	25,421	5.3%	80,581	16.8%	
nucleoeléctrica	11,991	2.5%	11,991	2.5%	86,816	18.1%	31,657	6.6%	
geotermoeléctrica	8,634	1.8%	8,634	1.8%	8,634	1.8%	8,634	1.8%	
solar	1,439	0.3%	1,439	0.3%	1,439	0.3%	1,439	0.3%	
biogás	1,439	0.3%	1,439	0.3%	1,439	0.3%	1,439	0.3%	
subtotal	121,351	25.3%	167,398	34.9%	167,877	35.0%	167,878	35.0%	
TOTAL	479,650	100.0%	479,650	100.0%	479,650	100.0%	479,650	100.0%	
NGL ¹ : nueva generación limpia; ciclo combinado y carboeléctrica con captura y secuestro de CO ₂									
NGL ² : nueva generación limpia; nucleoeléctrica, eoloeléctrica, solar o importación de capacidad									
carboeléctrica limpia ³ : con captura y secuestro de CO ₂									

El total de 479,650 GWh en 2026 se generaría con una capacidad total instalada de 93,502 MW, los cuales serían operados con un factor de planta conjunto de 58.6%.

Los escenarios ENenergía son estrategias para lograr la meta de aumentar la contribución de las fuentes no fósiles al 35% de la generación en 2026. Para ello, habría que limitar la contribución de los ciclos combinados que operan con gas natural a menos del 50% de la generación total, y se tendría que aumentar la contribución de las centrales eoloeléctricas y/o de las nucleoeléctricas.

El escenario ENenergía 1 es aquel en el cual el total de la reducción de la generación con gas natural en 2026 se sustituye con generación

eólica, que subiría de 25,421 GWh (5.3%) a 99,767 GWh (20.8%). Debido al bajo factor de planta de las centrales eólicas, la capacidad total del sistema en 2026 tendría que aumentarse a 119,172 MW, y que opere con un factor de planta conjunto de 46.0%

En el escenario ENEnergía 2 toda la reducción de la generación con gas natural en 2026 se sustituye con generación nuclear, que subiría de 11,991 GWh (2.5%) a 86,816 GWh (18.1%). La capacidad total en 2026 y el factor de planta conjunto serían los mismos que en el escenario inercial, 93,502 MW y 58.6%.

El escenario ENEnergía 3 sería un caso mixto, en el cual una parte del total de la reducción de la generación con gas natural se sustituye con generación eólica y la otra con generación nuclear. La contribución eólica subiría de 25,421 GWh (5.3%) a 80,581 GWh (16.8%) y la nuclear aumentaría de 11,91 GWh (2.5%) a 31,657 (6.6%). Por el bajo factor de planta de las centrales eólicas, que se compensaría con el alto factor de planta de las centrales nucleares, la capacidad total del sistema en 2026 sólo aumentaría a 112,296 MW, y que opere con un factor de planta conjunto de 48.8%

Se estima que este escenario ENEnergía 3 sería más factible que los otros dos para lograr el objetivo de diversificar las fuentes de energía, daría prioridad al incremento en la participación de tecnologías no fósiles.

En cualquiera de los escenarios planteados, los factores críticos de éxito para lograr la meta de incrementar la participación de las fuentes no fósiles a 35% en la generación de electricidad en 2026 son:

- ✓ Asignación de recursos para fondear proyectos con tecnologías limpias.
- ✓ Mecanismos ágiles para financiar proyectos con capital privado.
- ✓ Que la SHCP otorgue el presupuesto adicional para hacer frente a las obligaciones derivadas de la incorporación de externalidades.
- ✓ Dentro del Presupuesto de la Federación, transparencia en los subsidios y/o impuestos requeridos para corregir las externalidades.
- ✓ Política de precios que permita la diferenciación de combustibles, de acuerdo con su propia estructura de costos y sin subsidios.

Eficiencia en el consumo de energía

La estrategia contempla dos escenarios para el ahorro de energía, el inercial y el ENEnergía.

En la tabla 20 se muestran los ahorros en TWh proyectados a 2030 por tipo de consumo. En el escenario inercial el ahorro acumulado sería de 2,466 TWh, que en el escenario ENEnergía se incrementaría hasta 4,017 TWh debido a la efectividad de las acciones para lograr ahorros adicionales en los diferentes tipos de consumo.

Tabla 20.- Potencial de ahorro de energía acumulado al 2030				
SENER: Estrategia Nacional de Energía 2012-2026				
	inercial		ENEnergía	
	ahorro		ahorro	
tipo de consumo	TWh	%	TWh	%
transporte automotor	1,739	18.0%	2,736	26.0%
iluminación	520	52.0%	520	52.0%
equipos del hogar e inmuebles	134	10.0%	134	10.0%
cogeneración	40		483	
edificaciones	8	15.0%	93	16.0%
motores industriales	3	2.0%	29	2.0%
bombas de agua	22	12.0%	22	12.0%
total	2,466	11.5%	4,017	18.7%

En el escenario inercial, se lograría un ahorro de 520 TWh en el consumo para iluminación por la entrada en vigor en 2012 de una norma que reduce la venta de focos incandescentes y de tubos fluorescentes de baja eficiencia.

El ahorro de 134 TWh en el consumo en equipos del hogar y de inmuebles se lograría con la implementación de la norma que limita la venta de refrigeradores y calentadores de baja eficiencia. Los 22 TWh de ahorro en el consumo de bombeo de agua se lograrían con un programa de rehabilitación de pozos agrícolas y municipales, para que en 2030 sean eficientes el 60% de los equipos en operación.

Por arriba de los 1,739 TWh de ahorro del escenario inercial, en el escenario ENEnergía destacan en primer lugar los ahorros adicionales de

997 TWh en el transporte automotor, para un alcanzar un total de 2,736 TWh, debido al éxito de los estándares mecánicos y/o ambientales para vehículos importados, ya que se tiene un amplio potencial de ahorro que depende de la efectividad para limitar el consumo de autos usados importados.

En segundo lugar, además del ahorro de 40 TWh del escenario inercial, se lograría un ahorro adicional de 443 TWh, para llegar a un total de 483 TWh en el escenario ENEnergía debido a los proyectos de cogeneración en el sector industrial del país, incluidos los del sector energético, ya que se considera que PEMEX se autoabastece de energía hacia 2012 y, si ocurren cambios en la legislación, se podría lograr una captura adicional de potencia.

En tercer lugar, los ahorros adicionales a los 11 TWh del escenario inercial, que se lograrían por la adquisición de sistemas eficientes y el uso de mejores prácticas en edificaciones, así como por la sustitución de motores por otros más eficientes, en el escenario ENEnergía suman otros 111 TWh, para un total de 122 TWh. Se consideran un mayor uso de materiales aislantes en las nuevas construcciones residenciales en zonas cálidas, así como un programa de sustitución y fomento de compra de equipos con mayor eficiencia.

Como resultado de las acciones de eficiencia energética previstas dentro del escenario ENEnergía se esperaría obtener un impacto considerable dentro del consumo final energético hacia 2026, como se muestra en la tabla 21. A partir de un consumo anual de 4,678 PJ en 2010, en el escenario inercial se llegaría a 7,451 PJ en 2026, lo que representaría una tmca de 2.95%.

Tabla 21.- Evolución del consumo final de energía por sector

SENER: Estrategia Nacional de Energía 2012-2026						
	2010		2026			
	PJ	%	inercial		ENEnergía	
sector de consumo	PJ	%	PJ	%	PJ	%
transporte	2,292	49.0%	4,098	55.0%	3,302	52.0%
industrial	1,310	28.0%	1,863	25.0%	1,778	28.0%
residencial, comercial y público	936	20.0%	1,341	18.0%	1,080	17.0%
agropecuario	140	3.0%	149	2.0%	191	3.0%
total	4,678	100.0%	7,451	100.0%	6,351	100.0%

En el escenario ENEnergía la tmca se reduciría 1.93% y el consumo total llegaría a 6,351 PJ, lo que representaría un ahorro de 1,100 PJ, que sería el 23.5% del consumo en 2010.

Se observa que en este escenario, entre 2010 y 2026 el consumo porcentual en el transporte subiría 3% y en el sector residencial, comercial y público bajaría 3%. En el sector industrial y en el agropecuario la participación porcentual del total se mantendría igual.

Se esperaría que para 2026 se mantenga la canasta energética por tipo de combustible, ya que la gasolina y el diesel seguirían predominando en el sector de transporte, pero se prevé un incremento en el consumo de gas natural de los sectores industrial y residencial, y se reduciría significativamente el consumo de gas LP, que se sustituirá por gas natural.

En el sector residencial se esperarían considerables ahorros por la sustitución primero de focos incandescentes por lámparas de halógenos y luego por luminarias fluorescentes compactas y LED. También se esperarían ahorros en el consumo de gas LP por la mejora gradual de la eficiencia de los calentadores de agua y la sustitución de estos por calentadores solares, así como por el uso de estufas con encendido electrónico y de hornos de microondas.

Los factores críticos de éxito para lograr la meta de un ahorro de energía de 15%, respecto a la proyección de la línea base del consumo nacional de energía, son:

- ✓ Acceso oportuno al financiamiento requerido para implementar las líneas de acción.
- ✓ Financiamiento de las líneas de acción del Programa Nacional de Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE), a través del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.
- ✓ Asignación de presupuesto para proyectos de eficiencia energética en la CFE y PEMEX.
- ✓ Sistemas robustos para medición de la línea base.
- ✓ Sistema adecuado de precios y tarifas.
- ✓ Coordinación entre los tres niveles de gobierno.
- ✓ Coordinación entre la CFE y PEMEX.
- ✓ Desarrollo y adopción de tecnologías de administración de la demanda y uso eficiente de la energía.

Elementos transversales de la Estrategia Nacional de Energía

Se han identificado elementos transversales, que son inherentes a cada uno de los objetivos de la Estrategia Nacional de Energía y se deben considerar para asegurar que estos se alcancen y se logre alcanzar la visión a 2026.

Los elementos transversales son: arreglo institucional; innovación y desarrollo tecnológico; temas financieros y presupuestales; precios y subsidios; contenido nacional; programas de cultura energética; temas laborales; y temas sociales.

Estos elementos transversales son indispensables para la instrumentación de la estrategia Nacional de Energía y el logro de sus metas. Por lo tanto se deben subordinar a la visión de la estrategia y deben ser abordadas de manera integral para lograr los objetivos planteados.

Objetivos de los elementos transversales

A su vez, los elementos transversales tienen sus propios objetivos y múltiples líneas de acción. Los objetivos son:

- **Arreglo institucional:**
 - ✓ Fortalecer a las instituciones con desempeño eficiente y que aplique las mejores prácticas internacionales.

- **Innovación y desarrollo tecnológico:**
 - ✓ Desarrollar proyectos que generen valor agregado para la industria energética mexicana;
 - ✓ Fortalecer a los institutos de investigación del sector energético;
 - ✓ Fomentar el desarrollo de recursos humanos capacitados a través de instituciones de educación superior y centros de investigación con la industria y tecnólogos.

- **Temas financieros y presupuestales:**
 - ✓ Fortalecer las finanzas de las empresas del sector energético.

- **Precios y subsidios:**
 - ✓ Impulsar de manera gradual esquemas de precios y tarifas que reflejen señales económicas para el uso eficiente de energía;
 - ✓ Transparentar los subsidios y aplicar subsidios focalizados.

- **Contenido nacional:**
 - ✓ Incrementar el contenido nacional del sector energético;
 - ✓ Fomentar consorcios industriales y tecnológicos en el sector energético.
- **Programas de cultura energética:**
 - ✓ Instrumentar programas masivos orientados a construir una cultura energética que favorezca el uso eficiente de la energía.
- **Temas laborales:**
 - ✓ Implantar una política de desarrollo social.
- **Temas sociales:**
 - ✓ Desarrollar esquemas que permitan manejar los pasivos laborales de las empresas sin se impacte en su patrimonio;
 - ✓ Reclutar y desarrollar recursos humanos especializados y mejorar la productividad laboral.

Financiamiento de la ciencia y tecnología en México

Como se puede observar al pie de la tabla 22, el gasto del sector público en investigación y desarrollo experimental (IDE) en nuestro país en 2001 fue de \$ 36 866 millones MN, que fue el 0.46% del producto interno bruto (PIB) de ese año (10). Este porcentaje del gasto dedicado a la investigación básica y aplicada, así como al desarrollo de tecnología, es menos de la mitad de la cifra de 1.0% recomendada por los organismos internacionales.

Tabla 22.- Gasto Nacional en Ciencia y Tecnología en 2011

CONACYT: Informe general del estado de la ciencia y la tecnología 2002-2011				
	IDE	posgrado	servicios CyT	subtotal
Sector público				
	millones de pesos corrientes de 2011			
sectores	30,749.0	8,738.7	5,846.8	45,334.5
CONACYT	5,588.7	4,780.2	493.0	10,861.9
Estados	528.6	882.6		1,411.2
SUBTOTAL	36,866.3	14,401.5	6,339.8	57,607.6
Instituciones de educación superior				
	millones de pesos corrientes de 2011			
	3,008.1	2,621.8	339.5	5,969.4
Sector privado				
	millones de pesos corrientes de 2011			
sector productivo	24,649.5	6,174.7	13,723.7	44,547.9
gasto de las familias		1,998.8		1,998.8
sector externo	941.4			941.4
SUBTOTAL	25,590.9	8,173.5	13,723.7	47,488.1
	IDE	posgrado	servicios CyT	subtotal
	millones de pesos corrientes de 2011			
TOTAL	65,465.3	25,196.8	20,403.0	111,065.1
% del GNCYT	58.94%	22.69%	18.37%	100.00%
% del PIB*	0.46%	0.18%	0.14%	0.77%
*PIB = 14'352,866.8 106 MN\$ ₂₀₁₁				

Si al gasto total en IDE por \$ 65 465 millones MN, se suma el gasto en educación de posgrado de \$ 25 197 millones MN y en servicios científicos y tecnológicos (CyT) por \$ 20 403 millones MN, la cifra total del gasto nacional en ciencia y tecnología de \$ 111 65 millones MN apenas llega a 0.77% del PIB.

Del ese total del gasto nacional en ciencia y tecnología el 51.9% lo aportaron las entidades del sector público, el 5.4% las instituciones de educación superior y el 42.8% las empresa y familias del sector privado. La contribución directa del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por \$ 10 862 millones MN fue apenas 18.9% de la aportación del sector público y el 9.8% del total del gasto nacional, que es una cifra pequeña si se considera que el CONACYT es la entidad del estado mexicano responsable de impulsar la ciencia, la tecnología y la innovación.

El desglose por ramo y sector del gasto federal en ciencia y tecnología en 2011, por 57 935 millones de pesos, se presenta en la tabla 23, en la que se destacan las contribuciones de los ramos: 38 CONACYT, \$ 20 718 millones MN (35.8%); 11 Educación Pública (SEP), \$ 16 136 millones MN (27.9%); y 18 Energía (SENER), \$ 10 696 millones MN (18.5%).

Tabla 23.- Gasto Federal en Ciencia y Tecnología		
CONACYT: Informe general del estado de la ciencia y la tecnología 2002-2011		
	gasto en 2011	
Ramo y Sector	10⁶ MN\$₂₀₁₁	%
11 Educación pública (SEP)	16,136	27.4%
38 CONACYT	20,718	35.2%
18 Energía (SENER)	10,696	18.2%
12 Salud y seguridad social (SSA)	5,214	8.9%
8 Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA)	2,618	4.5%
10 Economía (SE)	2,048	3.5%
16 Medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT)	505	0.9%
otros sectores*	875	1.5%
Total	58,810	100.0%
* SEGOB, SRE, SCT, SEMAR, SECTUR y PGR.		

El resto del gasto federal en ciencia y tecnología fue de \$ 11 260 millones MN (19.4%) y se repartió entre los rubros: 12 Salud y seguridad social (SSA); 8 Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA); 10 Economía (SE); 16 Medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT); y otros sectores.

Cabe señalar que el gasto federal del ramo 38 CONACYT, por \$ 20 718 MN, se desglosa en dos partidas: \$ 13 170 millones MN asignados directamente al CONACYT; y \$ 7 548 millones MN destinados a los Centros de Investigación CONACYT.

En el caso del ramo 11 Educación pública (SEP), como se desglosa en la tabla 24, el mayor porcentaje del gasto de \$ 16 136 millones MN, se destina a la UNAM (49.2%). El resto se reparte entre: el CINESTAV

(14.5%); el IPN (10.4%); la UAM (10.0%); el COLMEX (3.5%); la UAA (1.2%) y otras entidades de educación superior (11.2%)

Tabla 24.- Gasto Federal en Ciencia y Tecnología en 2011 del ramo 11 Educación pública (SEP)		
CONACYT: Informe general del estado de la ciencia y la tecnología 2002-2011		
	gasto en 2011	
Ramo 11 Educación pública	10⁶ MN\$₂₀₁₁	%
Universidad Nacional Autónoma de México	7,938	49.2%
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	2,336	14.5%
Instituto Politécnico Nacional	1,684	10.4%
Universidad Autónoma Metropolitana	1,614	10.0%
El Colegio de México, AC	570	3.5%
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	193	1.2%
otros	1,801	11.2%
total	16,136	100.0%

Finalmente, de particular interés para el desarrollo de la ciencia y la tecnología relacionada con la ingeniería energética sostenible, en la tabla 25 se desglosa el gasto federal destinado al ramo 18 Energía (SENER).

Tabla 25.- Gasto Federal en Ciencia y Tecnología en 2011 del ramo 18 Energía (SENER)		
CONACYT: Informe general del estado de la ciencia y la tecnología 2002-2011		
	gasto en 2011	
Ramo 18 Energía	10⁶ MN\$₂₀₁₁	%
Instituto Mexicano del Petróleo	5,685	53.2%
Petróleos Mexicanos	3,563	33.3%
Instituto de Investigaciones Eléctricas	794	7.4%
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	654	6.1%
total	10,696	100.0%

Del total de \$ 10 696 millones MN, destacan los enormes porcentajes de los recursos destinados a PEMEX (33.3%) y al IMP (53.2%), comparados con los muy escasos recursos destinados al IIE (7.4%) y al

ININ (6.1%), que son las instituciones del sector energético en las que hay mayores posibilidades de investigación e innovación tecnológica para diversificar el uso en México de los energéticos primarios hacia fuentes distintas de los hidrocarburos, como son la energía hidráulica, la geotérmica, la nuclear, la solar y la eólica, así como otras fuentes renovables.

Recursos humanos ocupados en ciencia y tecnología

Tabla 26 .- Población con estudios de licenciatura o mayor económicamente activa, por área de la ciencia y sector				
CONACYT: Informe general del estado de la ciencia y la tecnología 2002-2011				
	sector de ocupación			
	en ciencia y tecnología	en otras actividades		
año 2011			subtotal	
Área de la ciencia	miles de personas			%
Ciencias sociales	1,693.9	1,491.9	3,185.8	50.9%
Ingeniería	639.7	888.3	1,528.0	24.4%
Salud	464.4	122.2	586.6	9.4%
Ciencias naturales y exactas	167.4	175.6	343.0	5.5%
Humanidades	224.6	112.2	336.8	5.4%
Agricultura	109.1	157.3	266.4	4.3%
no especificado	2.4	3.9	6.3	0.1%
total	3,301.5	2,951.4	6,252.9	100.0%

Como se muestra en la tabla 26 (10), en 2011 había en México 6 millones 253 mil personas con estudios en los diferentes niveles de licenciatura y posgrado, económicamente activas, cuya distribución en las diferentes áreas de la ciencia.

Un millón 338 mil ingenieros eran el 24.4% de la población económicamente activa y, de ellos, 640 mil se ocupaban en actividades de ciencia y tecnología y los otros 888 mil en otras actividades.

En la tabla 27 se desglosan por área de la ciencia los 3 millones 301 mil personas con estudios en los diferentes niveles de licenciatura y posgrado, ocupadas en ciencia y tecnología en 2011.

Tabla 27.- Población con estudios de licenciatura o mayor, ocupada en ciencia y tecnología, por área de la ciencia y nivel de estudios					
CONACYT: Informe general del estado de la ciencia y la tecnología 2002-2011					
	nivel de estudios				
año 2011	licenciatura	especialidad	doctorado	subtotal	
Area de la ciencia	miles de personas			%	
Ciencias sociales	1,487.7	201.0	5.1	1,693.8	51.3%
Ingeniería	603.4	33.0	3.3	639.7	19.4%
Salud	372.5	75.7	16.2	464.4	14.1%
Humanidades	182.2	42.4	0.0	224.6	6.8%
Ciencias naturales y exactas	138.7	22.0	6.7	167.4	5.1%
Agricultura	101.4	6.0	1.6	109.0	3.3%
no especificado	0.1	2.3	0.0	2.4	0.1%
total	2,886.0	382.4	32.9	3,301.3	100.0%

Destaca la elevada concentración de profesionales en las ciencias sociales (51.3%) y el bajo porcentaje de ingenieros (19.4%) ocupados en ciencia y tecnología. El resto se distribuyen entre profesionales en: salud (14.1%); humanidades (6.8%); ciencias naturales y exactas (5.1%); agricultura (3.3%); y otras áreas no especificadas (0.1%).

Formación de recursos humanos en ingeniería y tecnología

La matrícula en México de estudiantes de licenciatura y posgrado en ingeniería y tecnología ha crecido rápidamente en el último decenio, como se puede apreciar en la tabla 28 (11).

Tabla 28.- Matrícula en México de estudiantes de licenciatura y posgrado en ingeniería y tecnología			
Observatorio de la ingeniería mexicana			
Academia de Ingeniería, AC; CONACYT			
	ciclo escolar		
	2000-2001	2005-2006	2010-2011
nivel	número de alumnos		
licenciatura			
en tecnología	115,106	168,579	106,386
en ingeniería	399,357	510,973	738,015
especialidad	1,817	1,920	2,016
maestría	13,654	15,803	18,849
doctorado	1,417	2,472	3,822
total	531,351	699,747	869,088

Entre el ciclo 2000-2001 y 2005-2006 la matrícula pasó de 531,351 a 699,747, con una tmca de 5.7%, mientras que en los 5 ciclos siguientes creció más lentamente, con una tmca de 4.4%, hasta llegar a 869,088 en el ciclo 2010-2011. En todo el decenio la tmca fue 5.0%, muy por encima del ritmo del crecimiento de la población.

En términos relativos, el mayor crecimiento se dio en la matrícula de estudiantes de doctorado, cuya tmca en el decenio fue de 10.4%, que pasó de 1,417 estudiantes en el ciclo 2000-2001 a 3,822 en el ciclo 2010-2011.

También la matrícula de licenciatura en ingeniería creció rápidamente, con una tmca en el decenio de 6.3%, que en números absolutos pasó de 399,357 al principio del período a 738,015 al final. Los estudiantes de maestría sólo crecieron con una tmca de 3.3%.

Lo anterior indica que actualmente hay un interés muy grande de los estudiantes de licenciatura en ingeniería en continuar sus estudios en el nivel de posgrado, especialmente en el doctorado, con miras a un ejercicio profesional de alto rendimiento en la docencia, la investigación y el desarrollo de sistemas y proyectos de ingeniería.

Recursos humanos en ingeniería vinculados con la industria energética

Actualmente, en el ciclo 2010-2011, sólo el 17.5% de los 738,015 estudiantes matriculados en licenciaturas en ingeniería cursan carreras

vinculadas con la industria energética como son las ingenierías química, electromecánica, mecánica, ambiental, petrolera, geología y geofísica, minas, metalurgia y extractivas (11).

De los 129,149 alumnos en estas carreras el 77.9% se concentra en las tres primeras, como se observa en la tabla 29. Llama la atención la escasa matrícula en las carreras directamente vinculadas con las industrias eléctrica y petrolera.

Tabla 29.- Matrícula de estudiantes en licenciaturas de ingeniería		
Observatorio de la ingeniería mexicana		
Academia de Ingeniería, AC; CONACYT		
		ciclo
		2010-2011
carrera		alumnos
química		35,237
electromecánica		34,085
mecánica		31,273
ambiental		12,435
eléctrica		7,887
petrolera		3,577
geología y geofísica		3,305
minas, metalurgia y extractivas		1,350
otras		608,866
total		738,015

En el período de 2000 a 2011 la matrícula de estudiantes de posgrado en las ingenierías vinculadas con la industria energética ha sido muy volátil, de manera que para aquilatar la tendencia, en la tabla 30 se consigna el promedio para la especialidad, la maestría y el doctorado en cada ingeniería. En todos los casos hay programas de maestría pero en algunas de las ingenierías no hay programas de especialidad o de doctorado.

Tabla 30.- Matrícula de estudiantes en posgrados de las ingenierías vinculadas con la industria energética				
Observatorio de la ingeniería mexicana				
Academia de Ingeniería, AC; CONACYT				
promedio del periodo 2000 al 2011				
posgrado en ingeniería	especialidad	maestría	doctorado	subtotal
	alumnos			
electromecánica	74	776	163	1,013
eléctrica	30	766	176	972
química	14	443	92	549
física		432	110	542
ambiental	100	353	80	533
extractiva y metalúrgica	8	196	96	300
ciencias de la tierra	32	129	95	256
topográfica e hidráulica	14	114		128
energética	30	89		119
oceánica		36	9	45
nuclear		13		13
geofísica		2		2
total	302	3,349	821	4,472

Del promedio de 4,472 estudiantes de posgrado matriculados anualmente en las 12 ingenierías, el 6.8% estudiaban la especialidad, 74.9% la maestría y 18.4% el doctorado, lo que señala la gran concentración en el posgrado intermedio orientado mayormente a la práctica profesional en la industria.

También se observa una gran disparidad entre ingenierías en la matrícula total del posgrado, ya que: la electromecánica y la eléctrica agrupaban 44.4% del total; la química, la física y la ambiental contribuían con 36.3%; la extractiva y metalúrgica, las ciencias de la tierra, la topográfica e hidráulica y la energética aportaban 18.0%; pero la oceánica, la nuclear y la geofísica sólo sumaban el 1.3%. El promedio de las 12 ingenierías era de 373 alumnos, con una gran desviación estándar de 353.

En la tabla 31 se consigna la evolución con una dinámica tendencia ascendente de la matrícula en la relativamente nueva maestría en ingeniería energética, que pasó de 5 alumnos en 2000 a 192 alumnos en 2011, con una tmca de 39.3%. El promedio anual en el período 2000-2011 fue de 89 alumnos, con una desviación estándar de 58.

Tabla 31.- Matrícula en la maestría en ingeniería energética		
Observatorio de la ingeniería mexicana		
Academia de Ingeniería, AC; CONACYT		
		período
		2000-2011
año		alumnos
2000		5
2001		8
2002		59
2003		20
2004		133
2005		101
2006		81
2007		87
2008		110
2009		139
2010		127
2011		192
total		1,062
promedio		89
desviación estándar		58
tmca		39.3%

Si este crecimiento tan robusto de la matrícula en el posgrado en ingeniería energética se proyectara al futuro con la misma tendencia exponencial, en 2020 habría 3,067 alumnos matriculados y en 2030 habría 46,970.

Cadenas de suministro de los proyectos eólicos y nucleares

En la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 se plantean varios escenarios para aumentar sustancialmente en México la contribución de las fuentes primarias diferentes de las fósiles, a fin de generar en 2026 el 35% de la electricidad con energía eólica, hidráulica, y nuclear principalmente, con menores participaciones de la geotérmica, la solar y el biogás. Se limitaría el uso del gas natural y el carbón y el resto de energéticos fósiles tendrían aportaciones menores (8).

El escenario EN Energía 3 es un caso mixto, que se estima sería el más factible de los tres planteados, en el cual una parte del total de la reducción de la generación con gas natural se sustituye con generación eólica y la otra con generación nuclear. La contribución eólica subiría aceleradamente desde una base muy pequeña < 1,000 GWh (0.4%) en 2011 a 80,581 GWh (16.8%) en 2026 y la nuclear aumentaría respectivamente de 10,000 GWh (3.9%) a 31,657 GWh (6.6%) en el mismo lapso. Por el bajo factor de planta anual de las centrales eólicas, que se compensaría con el alto factor de planta de las centrales nucleares, la capacidad total del sistema en 2026 sólo aumentaría a 112,296 MW, y operaría con un factor de planta conjunto de 48.8%.

Este escenario de crecimiento de la capacidad eólica y nuclear instalada, le representaría una gran oportunidad a la ingeniería mexicana para contribuir en todas las etapas de la cadena de suministro de estas tecnologías, desde la evaluación del potencial y localización de sitios aptos para instalar las centrales, pasando por el diseño y la construcción de las instalaciones, la fabricación de los equipos y el montaje electromecánico, así como la puesta en servicio y operación comercial.

En el caso de las centrales nucleoelectricas también se incluyen las actividades de ingeniería del ciclo de combustible nuclear, que abarcan desde la prospección y producción de Uranio hasta el manejo del combustible irradiado y el almacenamiento definitivo de los productos de la fisión.

También representaría un enorme reto para las instituciones públicas y privadas lograr que en todas las etapas de realización de los proyectos planteados en la estrategia participaran activamente los institutos como el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), las instituciones de educación superior como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), las universidades estatales, el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM) y otras universidades privadas, así como las firmas de ingeniería y las empresas industriales de bienes de capital.

En el caso de las centrales eólicas sería muy importante diseñar, construir y operarlas con el máximo de contenido nacional, lo cual se antoja factible porque no es una tecnología muy compleja. En el caso de las centrales nucleares, que exigen programas de garantía de calidad muy estrictos por razones de la normatividad de seguridad aplicable, ya existe la buena experiencia de la central Laguna Verde y habría que

volver a crear los incentivos en la industria nacional para fabricar en México una cantidad importante de los equipos y componentes de calidad nuclear (12).

Tabla 32.- Generación de electricidad en 2011					
http://www.world-nuclear.org/info/					
España			Alemania		
energético	TWh	%	energético	TWh	%
gas natural	84.5	28.9%	nuclear	108.0	17.9%
nuclear	57.6	19.7%	biomasa y desechos	43.6	7.2%
hidro	48.2	16.5%	carbón	278.0	46.0%
carbón	45.0	15.4%	gas natural	84.0	13.9%
viento	42.4	14.5%	hidro	24.6	4.1%
solar	9.1	3.1%	petróleo	0.0	0.0%
biomasa y desechos	5.2	1.8%	solar	19.0	3.1%
petróleo	0.0	0.0%	viento	46.5	7.7%
subtotal	292.0	100.0%	subtotal	603.7	100.0%
México			Estados Unidos		
energético	TWh	%	energético	TWh	%
nuclear	10.0	3.7%	nuclear	821.0	18.9%
gas natural	135.0	49.6%	biomasa y desechos	50.0	1.2%
carbón	34.0	12.5%	carbón	1,874.0	43.1%
viento	1.0	0.4%	gas natural	1,047.0	24.1%
solar	0.0	0.0%	hidro	351.0	8.1%
biomasa y desechos	8.2	3.0%	petróleo	0.0	0.0%
hidro	36.0	13.2%	solar	79.0	1.8%
petróleo	48.0	17.6%	viento	121.0	2.8%
subtotal	272.2	100.0%	subtotal	4,343.0	100.0%
Brasil			Francia		
energético	TWh	%	energético	TWh	%
nuclear	13.4	3.0%	nuclear	429.0	74.9%
gas natural	15.6	3.5%	biomasa y desechos	0.0	0.0%
carbón	11.1	2.5%	carbón	27.0	4.7%
viento	0.0	0.0%	gas natural	26.0	4.5%
solar	0.0	0.0%	hidro	68.0	11.9%
biomasa y desechos	17.8	4.0%	petróleo	0.0	0.0%
hidro	373.8	84.0%	solar	6.0	1.0%
petróleo	13.1	2.9%	viento	17.0	3.0%
subtotal	444.8	100.0%	subtotal	573.0	100.0%

Para formarse una idea del gran reto que representaría embarcarse en México en un ambicioso programa de crecimiento eólico y nuclear, en la tabla 32 se muestran como referencia las contribuciones actuales de estas tecnologías en varios países de Europa que ya cuentan con una tradición eólica y nuclear bien establecida, al igual que los Estados Unidos (13).

España y Alemania son unos de los países líderes en Europa y el mundo en energía eólica y después de muchos años de haberse iniciado en ella suministran actualmente el 14.5% y el 7.7% de su electricidad con esta tecnología. Los Estados Unidos apenas generan el 2.8% con energía eólica, Francia el 3.0% y México el 0.4% En estos países el promedio

pesado de la generación eólica es 3.5%, que es útil para satisfacer la demanda de energía fuera del horario de base, pero cuyas unidades no aportan capacidad firme para satisfacer la demanda de potencia en sus sistemas eléctricos.

En materia de energía nuclear la participación es mayor en todos ellos. Francia generó en 2011 el 74.0% de sus electricidad con centrales nucleoelectricas, España el 19.7%, Estados Unidos el 18.9%, Alemania el 17.9%, México el 3.7% y Brasil el 3.0%. El promedio pesado de la generación nuclear en los seis países es 22.0%, lo que indica que esta tecnología sirve de puntal en los sistemas eléctricos para suministrar potencia y energía para satisfacer la demanda de base.

Finalmente, la tabla 33 compila los costos estimados de algunas de las tecnologías de generación eléctrica para la carga de punta y base en el sistema eléctrico de México (2) (14). Con esas cifras se pueden estimar las inversiones necesarias y los costos de operación y mantenimiento del programa de expansión de capacidad eólica de 20,900 MW y nuclear de 2,800 MW que contempla hasta 2026 el escenario ENenergía3 (8).

La inversión incremental necesaria para instalar los 209 parques eólicos, cada uno de 100 MW (@ 2,100 USD₂₀₁₀/kW), se estima sería de USD₂₀₁₀ 43 890 millones y los costos de operación y mantenimiento (@ 42.00 USD₂₀₁₀/año-kW) serían del orden de USD₂₀₁₀ 877 millones 800 anuales. No hay costo de combustible. El costo unitario de generación estimado sería de 109.12 USD₂₀₁₀/MWh.

Las dos centrales nucleares, cada una de 1,400 MW (@ 4,900 USD₂₀₁₀/kW), requerirían una inversión incremental estimada en USD₂₀₁₀ 13 720 millones y los costos de operación y mantenimiento (@ 120.00 USD₂₀₁₀/año-kW) serían del orden de USD₂₀₁₀ 336 millones anuales. Adicionalmente el costo anual por concepto del ciclo de combustible (@ 5.29 USD₂₀₁₀/MWh), incluido el manejo y almacenamiento del combustible irradiado, se estima que sería de USD₂₀₁₀ 116 millones 774 anuales. El costo unitario de generación estimado resultaría de 95.18 USD₂₀₁₀/MWh.

Tabla 33.- Estimación comparativa del costo unitario de generación de electricidad							
CFE. COPAR Generación 2010.							
Milenio. 7 de noviembre 2012							
tecnología de generación eléctrica para la carga de punta y base							
	La Yesca						ciclo
datos técnicos	hidráulica	eólica	solar FV	oceánica	geotérmica	nuclear	combinado
generación anual, GWh	1,210				12,614		
factor de planta, %	18.4%	30.0%	20.0%	10.0%	90.0%	90.0%	85.0%
capacidad instalada, MW	750	460	691	1,381	1,600	1,600	1,694
			eficiencia termodinámica, kWe/kWt		0.340	0.500	
			emisiones a la atmósfera, t CO ₂ /MWh		0.350		
	La Yesca						ciclo
datos económicos	hidráulica	eólica	solar FV	oceánica	geotérmica	nuclear	combinado
inversión unitaria, USD/kW	1,667	2,100	3,500	5,000	2,200	4,900	800
inversión bruta, MUSD	1,250	967	2,417	6,906	3,520	7,840	1,355
vida útil económica, años	50	25	25	50	30	60	30
tasa anual de descuento, %	12.0%						
anualidad equivalente; MUSD	150.5	123.3	308.2	831.6	437.0	941.8	168.3
costo anual de operación y mantenimiento, USD/año-kW	25.00	42.00	35.00	50.00	75.00	120.00	36.00
			precio del combustible, USD/GJ		0.50	5.35	
precio del agua y vapor, USD/MWh	1.00				52.00		
costo anual de combustible, MUSD	1.210				655.949	66.782	485.907
bonos de carbono, USD/t CO ₂	25.00						
	La Yesca						ciclo
	hidráulica	eólica	solar FV	oceánica	geotérmica	nuclear	combinado
costo unitario de generación	USD/MWh						
por capacidad	124.40	101.88	254.71	687.31	34.64	74.66	13.34
por operación y mantenimiento	15.50	15.98	19.98	57.08	9.51	15.22	4.83
por combustible	1.00				52.00	5.29	38.52
bono ambiental	-8.75						
total	132.14	109.12	265.94	735.64	87.40	95.18	56.69
	La Yesca						
	hidráulica						
beneficios ambientales y ahorros de combustibles							
emisiones a la atmósfera evitadas	900,000	t CO ₂ anuales					
factor de emisiones	743.8	t CO ₂ /GWh					
ahorros en combustóleo	20,000	bbl diarios a plena potencia					
	174	MUSD anuales					
precio del comustóleo	129.42	USD/bbl					

Queda claro que la enorme inversión total en la capacidad de 22,300 MW a ser instalada hasta 2026 con estas dos tecnologías intensivas en capital, sumaría USD₂₀₁₀ 57 610 millones (en promedio @ 2,583.40 USD₂₀₁₀/kW).

Esta inversión sería un gran incentivo para que la ingeniería y la industria mexicana se involucren a fondo en la industria eléctrica mediante el diseño, construcción y fabricación de los equipos para estos proyectos.

La inversión total sería equivalente a un flujo anual aproximado de USD₂₀₁₀ 4 115 millones. Adicionalmente cuando arranquen las centrales, la operación y mantenimiento, así como el combustible nuclear, representarían una derrama de USD₂₀₁₀ 1 331 millones anuales, que también beneficiarían a las firmas de ingeniería y empresas mexicanas involucrados en estas actividades.

Políticas públicas en materia energética

A continuación se sugieren algunos lineamientos sobre políticas públicas en materia energética:

- Los funcionarios públicos del más alto nivel jerárquico en el sector energético deben ser ingenieros y científicos que conozcan a profundidad las tecnologías involucradas en el abasto y consumo de energía y que además tengan amplia experiencia en la formulación de políticas públicas en la materia, así como en el gobierno y administración de las empresas públicas que operan en México.
- Para hacer viable técnica y económicamente a la generación eléctrica distribuida, principalmente con energías renovables intermitentes, se requiere de una legislación específica, así como de normas técnicas que aseguren su incorporación adecuada al sistema eléctrico sin causar problemas de gestión y control. Ley específica...
- En las aplicaciones térmicas de las energías renovables no hay normas técnicas que garanticen su utilización segura y eficiente.
- Es una realidad con alto grado de certidumbre que el fenómeno del cambio climático se debe, en buena medida, a la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero, particularmente de CO₂ producto de la combustión de carbón e hidrocarburos. Se debe desarrollar una estrategia nacional para reducir las emisiones y mitigar sus efectos, a la par que en otros países, y las energías renovables, entre otras, deben considerarse como una componente importante de la estrategia. Legislación específica...
- Si se considera que tarde o temprano la producción económica de energéticos no renovables llegará a un máximo en el mundo y empezará a declinar paulatinamente, conviene desarrollar una estrategia energética nacional de largo plazo, que incluya las

acciones necesarias para la transición hacia las energías renovables.

- La penetración del mercado energético por nuevas tecnologías se ha promovido a través de estrategias de incentivos fiscales, por razones de naturaleza social y política. Es necesario que cuando existan estos incentivos, tengan un horizonte de extinción bien determinados para asegurar la sostenibilidad económica del sistema energético. Subsidios a la gasolina y electricidad...
- Conviene la creación de un mercado de bonos de carbono en México y en Norteamérica, para sustituir gradualmente a los incentivos fiscales que se hayan implementado para promover el uso los energéticos que no contribuyen apreciablemente al cambio climático. ¿Hay un mercado?
- Es importante el desarrollo de estrategias eficaces para vincular a la industria en materia energética con la academia, tanto para formar los recursos humanos necesarios como para impulsar la investigación y desarrollo.
- Sería de gran beneficio para la industria el establecer un programa integral de creación de cadenas de valor relacionadas con los procesos de transformación de los energéticos renovables en energía útil.
- Se debe realizar un análisis de beneficio/costo sobre la implantación de una norma obligatoria para instalar calentadores solares planos en toda nueva edificación de los sectores residencial, comercial, industrial y de servicios públicos.

Conclusiones sobre la situación en México

México ha sido un país altamente dependiente de los combustibles fósiles, en particular del petróleo, para abastecer la demanda nacional de energía y en los últimos años ha aumentado peligrosamente su dependencia por los crecientes volúmenes de gas natural que se están destinando principalmente al sector eléctrico, de los cuales es importado un porcentaje significativo.

Esta situación es una evidente debilidad del sector y representa una amenaza a la seguridad energética nacional, ya que también se vislumbra que en pocos años declinará la producción nacional de petróleo y disminuirán las exportaciones cuyos ingresos de divisas han sostenido las finanzas públicas. En un plazo un poco mayor México corre el riesgo de convertirse en importador de petróleo.

No obstante lo anterior, también dispone México de fuentes alternas de energía primaria cuya tecnología de aprovechamiento en nuestro país ya

está probada y son competitivas económicamente, tales como la nucleenergía, la hidroenergía y la geoenergía, así como recientemente la energía eólica y más adelante lo será la solar.

Por lo tanto, es muy recomendable que el gobierno federal adopte políticas y emprenda acciones para incrementar el aprovechamiento de esas fuentes alternas, especialmente en el sector eléctrico en el que ya existen desde hace años los recursos humanos en ingeniería y la experiencia de su utilización, pero en el que todavía se han aprovechado en muy pequeña escala.

Los programas de eficiencia y ahorro de energía emprendidos por el gobierno federal han demostrado su eficacia para reducir el consumo nacional y se deben incrementar sus acciones para profundizar sus beneficios económicos, sociales y ambientales. La ingeniería mexicana puede fácilmente incorporarse a estas actividades, cuya tecnología es de poca complejidad.

Es especialmente importante que las políticas públicas en materia energética incluyan el impulso a las empresas de ingeniería mexicana, así como a los institutos del sector como el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el IIE y el ININ, así como a las empresas mexicanas de bienes de capital. De esta manera se capitalizaría el talento y disponibilidad de los científicos e ingenieros mexicanos.

Apéndice

La IEA ha publicado una serie de mapas de ruta tecnológica para la energías alternas a los combustibles fósiles (15), cuya utilidad en el caso de México podría capitalizarse si las comisiones desconcentradas y los institutos de investigación del sector energético, así como las instituciones de educación superior se dan a la tarea de revisarlas y adaptarlas a las condiciones nacionales. Como apéndice a este documento, en el disco CD incluido hay once archivos en formato .pdf que contienen los "Technology Road Maps" de la IEA.

Referencias

[1] IEA. International Energy Agency. World Energy Outlook 2011. Paris, France, OECD, 2011.

[2] CFE. Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Programación. Costos y parámetros de referencia para la formulación de

proyectos de inversión del sector eléctrico 2010. 30ª edición. México, D. F., 2010.

[3] Sarmiento H, Pérez H, Nieva R. Sistemas eléctricos inteligentes. Conferencia organizada por Instituto de Investigaciones Eléctricas y Consejo Mundial de la Energía – capítulo México. México D. F., 30 de marzo de 2008.

[4] NEA. Nuclear Energy Agency. Uranium 2011: Resources, Production and Demand. Paris, France. OECD/NEA/IAEA. 2011

[5] IEA. International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2012. Paris, France, OECD, 2011.

[6] Diario Oficial de la Federación. Ley Federal sobre Metrología y Normalización. DOF 1º de julio de 1992.

[7] SENER. Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía 2010. 2011.

[8] SENER. Secretaría de Energía. Estrategia Nacional de Energía 2012-2026. Febrero de 2012.

[9] IEA. International Energy Agency. Key World Energy Statistics 2011. Paris, France, OECD, 2011.

[10] CONACYT. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Informe general del estado de la ciencia y tecnología 2022-2011. 2011.

[11] AI. Academia de Ingeniería. Observatorio de la ingeniería mexicana <http://www.observatoriodelaingenieria.org.mx/>

[12] AI. Academia de Ingeniería. La nucleoelectricidad, una oportunidad para México. Octubre, 2009.

[13] WNA. World Nuclear Association. www.world-nuclear.org/info

[14] Milenio Diario. "Inauguran La Yesca, la obra del sexenio". 7 de noviembre de 2012.

[15] IEA. International Energy Agency. Technology Road Maps. Apéndice grabado en un CD con 11 archivos electrónicos en formato .pdf.