



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA
FACULTAD DE ECONOMÍA - DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

*Aplicación de la teoría del costo exergo-económico en el
análisis del sistema energético nacional como una
herramienta para el desarrollo sustentable.*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
Maestro en Economía

EN EL CAMPO DE CONOCIMIENTO:
Economía de los Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable

PRESENTA:
Daniel Alejandro Pacheco Rojas

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Angel de la Vega Navarro

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX., AGOSTO DE 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Prólogo:

Elaborar una tesis, es un gran desafío, requiere de un esfuerzo constante, tiempo, y mucha disciplina, pero sin duda alguna es un proceso muy gratificante y enriquecedor. Haber cursado la Maestría en Economía en la UNAM, es una de las más grandes satisfacciones de mi vida. Esta tesis estructura los conocimientos adquiridos para hacer un estudio que beneficie a la sociedad mexicana. Los primeros escritos de este trabajo figuraban muy ambiciosos, en ellos quería exponer todos los problemas económicos, energéticos y ambientales de México y resolverlos. Al darme cuenta de que no llegaba a ningún lado, la sobriedad y la humildad llegaron a mí. Ahora solamente pretendo aportar un poco de luz en el campo de la termo-economía, que considero como uno de los pilares fundamentales para un desarrollo nacional.

Quiero expresar mi agradecimiento a aquellas personas que me estimularon: a Dios, Al Dr. Angel de la Vega Navarro, un gran profesor, maestro y amigo. Gracias por su estímulo y apoyo constante, al Dr. Jorge Islas por su valioso paciencia y comentarios que contribuyeron a darle forma a este documento. A los Dr. Adrián Livas, Dr. Yashiro Matsumoto y Mtro. Daniel Nieves por sus comentarios y sugerencias

Quiero agradecer a todas las personas que me apoyaron, a mis padres Juan Pacheco y Myrna Rojas quienes me han apoyado a Elian Martínez por su cariño y apoyo constante, quien además me ayudó a ordenar las ideas y a revisar el documento.

Al Dr. Dr. Ariel Macaspac Hernández y al Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie, por permitirme realizar una estancia de investigación.

Se agradecen también las discusiones con el Dr. Fidel Aroche Reyes, Dr. Benjamín García Páez Dr. Francisco Estrada Porrúa y Dr. Ernesto Ezequiel Abraham Tarrab † de quienes traté en medida de lo posible de integrar sus observaciones. Todos los aciertos aquí presentados, es el resultado de la colaboración de un trabajo en equipo, y todos los errores son responsabilidad mía.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT por financiar esta investigación en México y en Alemania.

Abstract.

In this research, I studied the performance of the energy sector in Mexico from the perspective of the second law of thermodynamics and the concept of exergy, emphasizing the highlights of the Mexican energy sector, showing the potential energy savings and consequently gas mitigation of climate change.

The first component that I analyzed was the generation of CO₂, which is mainly negative health effects and largely acts as a catalyst for climate change.

Then I analyze the energy waste, because this waste has always existed and have been given few importance. The other tested negative externality is the irreversibility or missed work, which in other terms is the irreversibility useful energy didn't use.

Make better use of energy and non-energy resources contributes to give an efficient use of energy and mitigate the greenhouse gases, even with the technological and economic restrictions in the actual panorama of the country.

I applied the second law of thermodynamics because it could be useful quantitative method that improve the quality of life, human development, and everyday life as it is now used to improve the efficiency of the technical systems.

Chapter I is exposed as an introductory way the development of the energy sector in the world and particularly in Mexico, highlighting the importance of energy in economic growth.

In Chapter II Thermoeconomics and costs exergoeconomic theory is introduced. energy, exergy (energy socially useful), Exergy destroyed (lost work) efficiency, which will form the basis for analysis: concepts as they are introduced.

Chapter III relates the application of the second law, exergy or socially useful energy and exergy cost analysis of the Mexican Energy System.

Chapter VI an economic estimate of exergy flows in the SEM (exergoeconomic determination of costs) as well as its analysis and proposals resulting from this is done. Finally, conclusions are presented.

Índice:

Cap. I. La importancia de la energía en el crecimiento económico.	10
* Antecedentes mundiales.	
* Antecedentes en México.	
Cap. II. Termoeconomía	39
* Exergía; Energía útil y desarrollo sustentable.	
* Teoría del costo exergoeconómico.	
Cap. III. Análisis exergoeconomico en el sistema energético mexicano.	51
* Desarrollo del análisis.	
Cap. IV. Evaluación económica de los flujos de exergía del sistema energético mexicano.	57
* Conclusiones.	
Conclusiones.	67
Nomenclatura	
Índice de tablas.	
Bibliografía.	
Apéndices	

Introducción.

La economía de la energía surge a partir de la primera crisis del petróleo en 1970¹. La gran dependencia energética sobre este recurso² y el aumento de los precios del petróleo en 1973-1974, resaltó la importancia de la energía en el desarrollo económico de los países. Desde entonces, investigadores, académicos, ingenieros, economistas y políticos han mostrado un gran interés por los estudios de energía y economía.

En las últimas décadas del siglo XX han sucedido varios vaivenes petroleros que han impactado el sistema económico y la vida social, sin embargo, la estructura del sistema energético ha permanecido prácticamente sin cambios. Para 2012 la producción mundial de energía primaria a partir de los recursos fósiles es de 82 %. En México estos recursos aportan el 92 % del total en 2013, como se muestra en la tabla I.

Recursos	Mundial 1973-2012.		México 1970-2013				
	1973	1973	2012	2012	1970	2013	2013
	Mtep	Participación	Mtep	Participación	Participación	PJ	Participación
Petróleo	2814.9	46%	4198.5	31%	55%	5798.7	64%
Gas natural	977.0	16%	2848.0	21%	33%	2045.6	23%
Carbón*	1502.1	25%	3877.6	29%	2%	417.5	5%
Total Fossil	5293.9	87%	10924.1	82%	90%	8261.8	92%
Nuclear	55.0	1%	641.8	5%	-	122.6	1%
Hidroenergía	109.9	2%	320.9	2%	10%	100.7	1%
Basura y biod	641.1	11%	1337.1	10%	-	381.2	4%
Otros **	6.1	0%	147.1	1%	-	153.9	2%
Total	6106	100%	13371	100%	100%	9020	100%

* Incluye gas shale. ** Incluye geotermica, solar, eólica etc. Fuente. Elaboración propia, en base a datos de Key world energy stadistic 2014, IEA. Y el Balance Nacional de Energía 2013. SENER, 2014.

Millones de toneladas equivalentes de petróleo (MTEP), Peta Joules (PJ)

¹ Edwards BK 2003 The economics of hydroelectric power. Edward Elgar, Cherttenham BK.

² Para 1973 los combustibles fósiles (petróleo, carbón o gas) aportaron el 87 % de la producción de energía.

Al ritmo actual de consumo energético se estima que el petróleo durará 53 años, el gas natural 55 años y el carbón 113 años³, sin embargo la prolongación del uso de estos energéticos plantea agudizar los problemas locales de impacto ambiental y el mundial de cambio climático.

El establecimiento del sistema energético actual basado en recursos fósiles, es el resultado de un proceso histórico, de grandes costos de infraestructura, largos periodos de amortización, influencia de poderosos intereses políticos, que hacen difícil cambiarlo en un lapso de tiempo corto como para poder mitigar eficazmente esta problemática ambiental local y mundial que urge combatir.

Por otro lado, no hay a nivel mundial ni nacional una definición clara de transición energética, ni instrumentos y herramientas eficaces desde el punto de vista económico de ahorro y uso eficiente de la energía que haga al sistema energético actual, basado en recursos fósiles, una base para transitar a un sistema energético que dé solución a la problemática de impacto ambiental local y mundial de cambio climático.

La termodinámica permite describir el comportamiento, desarrollo y la eficiencia para sistemas energéticos. El análisis económico energético convencional está basado en la primera ley de la termodinámica, la cual establece el principio de la conservación de la energía, que contabiliza las entradas, pérdidas y salidas de energía del sistema. Las eficiencias son calculadas en función de la relación salidas/entradas, lo cual evalúa al sistema, pero no provee una identificación y medición de cómo llegar a la eficiencia óptima. Estos son los límites para generar instrumentos y herramientas que atiendan la problemática actual.

El análisis de exergía está basado en la segunda ley de la termodinámica y es útil en la identificación de las causas, lugares y magnitudes de los procesos ineficientes. La exergía es la cuantificación de la energía socialmente útil, también se le llama energía disponible, capacidad de trabajo y essergy, respeta el principio de conservación de energía, sin embargo,

³ BP Statistical Review of world energy June 2014. BP 2014.

identifica las pérdidas de calidad. Los procesos son siempre irreversibles, y el análisis exergético permite identificar el potencial máximo que se puede obtener con los insumos de energía, también específica cuantitativamente las limitaciones físicas y las pérdidas técnicas económicas. Este enfoque sirve como marco para establecer una visión más viable para combatir la problemática energética ambiental contemporánea.

Se han observado en años recientes un incremento en la aplicación y la utilidad de los métodos exergéticos en las industrias, gobiernos y academias. Su uso se ha extendido internacionalmente en: sistemas industriales (Rosen y Scott, 1998; Milia y Sciubba E, 2006; Gullan y Valero 1997) en países (Rosen 1992; Usón S, Valero A, 2010) y; en el impacto ambiental (Rosen y Dincer 1999; Gunnewiek 1998; Zhou J, Ma Shijun, 1996; Wall G, 2013).

En esta tesis de maestría en economía se realiza un estudio económico del desempeño del sector energético en México, desde la perspectiva de la segunda ley de la termodinámica y el concepto de exergía o energía socialmente útil. Se hace énfasis en los puntos más relevantes del sector energético mexicano, mostrando el potencial de ahorro de energía y en consecuencia de mitigación de gases de cambio climático.

El primer problema que se analiza es la generación de CO_2 únicamente, en este sentido, la externalidad⁴ negativa es la contaminación del aire, causa principal del calentamiento global y que actúa como catalizador en el cambio climático.

El segundo problema que se analiza son los desechos energéticos, siempre han existido y se les ha dado escasa o nula importancia. La externalidad negativa analizada es la destrucción de exergía ó trabajo perdido ó desperdicio de energía socialmente útil. Como se mencionó anteriormente, la exergía destruida fue energía socialmente útil que no se utilizó. Hacer un mejor uso de los recursos (energético o no energéticos) dadas las restricciones tecnológicas y económicas, contribuye a generar un potencial de ahorro con el uso eficiente de energía y además contribuye con la mitigación de gases de efecto invernadero.

⁴ Una externalidad es una consecuencia positiva o negativa derivada del proceso económico.

Los argumentos presentados en esta sección son de naturaleza exploratoria, espero puedan dar pie a algunas discusiones e investigaciones que contribuyan a un mejor entendimiento acerca del desempeño económico y social. Con el tiempo, la segunda ley de la termodinámica podría emplearse para determinar cuantitativamente la manera más efectiva de mejorar la calidad de vida, el desarrollo humano y la vida cotidiana, del mismo modo en que ahora se emplea para mejorar la eficiencia de los sistemas técnicos.

Este trabajo tiene como objetivo elaborar un análisis económico del balance de energía basado en la segunda ley de la termodinámica y el concepto de exergía o energía socialmente útil que contribuya a la creación de políticas públicas basadas en un desarrollo sustentable, tomando a México como caso de estudio, a través de un análisis de los factores técnicos y económicos que provocan el desperdicio energético para definir medidas que eviten costos económicos y ambientales innecesarios en el sector energético.

Complementariamente se desarrollaron los siguientes objetivos particulares:

- Conocer y analizar la estructura del sector energético mexicano aplicando la segunda ley de la termodinámica y el concepto de exergía o energía socialmente útil.
- Mostrar el potencial de ahorro de energía desde la perspectiva de la segunda ley de la termodinámica y el concepto de exergía o energía socialmente útil y, en consecuencia, de mitigación de gases de cambio climático haciendo énfasis en los puntos más relevantes del sector energético mexicano.
- Analizar el desempeño del sector energético en México, desde la perspectiva de la segunda ley de la termodinámica y el concepto de exergía o energía socialmente útil y aportar elementos que contribuyan a la creación de políticas públicas sustentables de acuerdo a esta perspectiva.

Se espera demostrar que: 1.- La aplicación de la segunda ley de la termodinámica y el concepto de exergía o energía socialmente útil logra establecer un potencial económico viable de ahorro, uso eficiente de energía en el sistema energético mexicano y 2.- Estos

conceptos ayudan a determinar un potencial más importante de mitigación de gases de efecto invernadero, que los análisis convencionales basados en la primera ley de termodinámica no resuelven. Asimismo, este marco de análisis permite identificar los puntos relevantes y viables desde el punto de vista económico para efectuar acciones de ahorro, uso eficiente de energía, así como de mitigación de gases de efecto invernadero y definir una agenda de políticas públicas sustentables.

Descripción:

En el capítulo I se expone como forma introductoria el desarrollo del sector energético en el mundo y en particular en México, resaltando la importancia que tiene la energía en el crecimiento económico.

En el capítulo II se introduce a la termoeconomía y la teoría de los costos exergoeconómicos. Se abordan conceptos que servirán de base para el análisis tales como energía, entalpía, exergía (energía socialmente útil), exergía destruida (trabajo perdido), eficiencia.

El capítulo III corresponde a la aplicación de la segunda ley de la termodinámica, la exergía o energía socialmente útil y el costo exergetico al análisis del Sistema Energético Mexicano (SEM).

En el capítulo IV se realiza una estimación económica de los flujos de exergía en el SEM (determinación de los costos exergoeconómicos) así como su análisis y algunas propuestas derivadas de ello. Finalmente se presentan las conclusiones.

El texto está estructurado de manera tal que los capítulos se pueden leer de manera independiente.

Capítulo I. La importancia de la energía en el crecimiento económico

El crecimiento.

El crecimiento económico es el aumento de la renta o el ingreso, producidos en una economía en un determinado periodo de tiempo. Es decir, existe un aumento de la producción, de la riqueza, de los medios de producción; entendiéndose por ello un impacto cuantitativo. El modelo más utilizado para explicar el crecimiento es el modelo de Solow, que incorpora los supuestos habituales del análisis clásico, como pleno empleo y competencia perfecta en los mercados de productos y de factores, rendimientos decrecientes a escala para cada factor, es un modelo neoclásico que explica el proceso de crecimiento económico. Asume una función de producción con rendimientos decrecientes de capital, tiene como propósito dar una predicción de la influencia de las tasas de ahorro y crecimiento de la población en el nivel de ingreso. El nivel de producto por habitante depende de la tasa de ahorro de la economía (stock de capital). Las recomendaciones de política son: la liberalización económica y desregulación. Además de no aplicar políticas regionales específicas. Además, se muestra que en el largo plazo el crecimiento es provocado por el progreso técnico. “el motor de crecimiento económico es la invención⁵.”

Para Schumpeter la diferencia entre crecimiento y desarrollo es clara. El crecimiento es definido como un aumento de los “medios de producción producidos” y un incremento de la población que es la abastecedora de la fuerza de trabajo necesaria para el proceso de producción. El crecimiento por sí mismo, es lento y no genera transformaciones socio-culturales. Por otro lado el desarrollo económico es, un fenómeno discontinuo y no estático, implica un conjunto de transformaciones bruscas que desplazan al sistema económico desde un punto de equilibrio a otro en un nivel superior y que según él tenía su origen en las

⁵ Para profundizar en el tema véase: Solow, R.M. (1982) “La teoría del crecimiento”, Fondo de Cultura Económica, México,

innovaciones introducidas por los empresarios en la economía, transformando cualitativa y cuantitativamente a la sociedad⁶

La teoría estructuralista⁷ define desarrollo económico como la introducción de una nueva combinación de factores de producción que incremente la productividad del trabajo. Las características esenciales del desarrollo económico son una continua expansión del número de sectores que utilizan la tecnología más avanzada y un cambio en la composición final de la producción total⁸.

En el sentido físico, la inversión consiste en el gasto de recursos materiales y energéticos para la construcción de instalaciones con el propósito de aumentar la capacidad productiva y la producción. En el sentido financiero, inversión significa comprar un trozo de papel que da derecho a un dividendo, por lo tanto a una parte de la producción.⁹ En este sentido, las inversiones no incrementan la capacidad productiva en un sentido físico, sino que más bien aumentan el ritmo de transformación y de las mercancías por medio de energía

La política económica del siglo XX se sustentó en la idea de “crecer por crecer” de esta forma la población obtiene empleo y salarios, los empresarios producen y obtienen beneficios, los gobiernos continúan el poder.

Actualmente, el desarrollo se mide en general por el índice de desarrollo humano (IDH) que refleja el PIB, la esperanza de vida al nacer, y el nivel de educación. Se puede estar de acuerdo o no en la forma de medir y en la objetividad de este indicador, pero es una referencia para los países.

⁶ Schumpeter, *Teoría del desenvolvimiento económico* FCE.

⁷ El estructuralismo es fundamentalmente un método de investigación, que toma como objeto de su investigación un sistema (relaciones recíprocas entre las partes de un todo), y no el estudio de las diferentes partes aisladamente. En el campo de la economía, en concreto, el concepto hace referencia a la existencia de un conjunto de relaciones económicas y sociales que no son observables, pero cuyos efectos económicos y sociales sí lo son. Esta corriente se desarrolla a partir de los años 60's en la CEPAL.

⁸ Hidalgo Capitán, (1999) Antonio Luis, Una visión retrospectiva de la economía del desarrollo, Universidad de Huelva, España, P 5.

⁹ Martínez Alier Joan, (1991) La ecología y la economía, México, FCE p 159

Antecedentes mundiales.

Desde los inicios de la humanidad, el ser humano ha usado energía para sobrevivir, el fuego lo utilizaba para calentarse, cocinar, defenderse y alumbrar; después comenzó a domesticar animales para alimentarse y transportarse, se utilizaban energías renovables como el sol, el viento, y agua para realizar un sinnúmero de actividades para lograr su desarrollo.

1ª Revolución industrial¹⁰.

Con la invención de la máquina de vapor de James Watt (perfección del prototipo de New Comen de 1712), se dio un fuerte impulso a la denominada “revolución industrial”, marcó la nueva etapa de la humanidad. El carbón movió las máquinas de vapor y sus gases iluminaron las ciudades.

Como consecuencia del aumento del consumo energético, además de las altas temperaturas que eran posibles alcanzar y la mayor cantidad de trabajo que podía desarrollarse, se dieron avances en la productividad y producción de nuevos materiales, los cuales pudieron perfeccionar las máquinas y aumentar la eficiencia. Esta revolución industrial aceleró el crecimiento poblacional que cada vez tenía mejores condiciones de vida y requería cantidades de energía mucho mayores.

2ª Revolución industrial¹¹.

Edwin L. Drake perforó el primer pozo comercial de petróleo en Oil Creek (Pensilvania), en 1859. John D. Rockefeller fundó en 1870 la Stándar Oil Company en Cleveland, precursora de Exxon Mobil, Conoco Phillips, Chevron y Amoco.

El alemán Karl Benz patentó en 1886 un triciclo movido por un motor de explosión. El automóvil marcó el comienzo de una nueva era que a partir del 1908 crecería su popularidad con el modelo Ford T, fabricado en cadena en Detroit.

A principios de 1980 George P. Mitchell, descubrió que podría liberarse el gas natural atrapado en las capas de esquisto (roca madre o shale) y a finales de los 90's el proceso se completó con la técnica de extracción hidráulica “fracking”.

¹⁰ Derry Tk, (1977) Williams T. Historia de la tecnología. P 397

¹¹ Ibíd. 529.

El vector energético fósil¹² (carbón, petróleo, gas) contribuyó con avances espectaculares en la economía, la sociedad, condiciones de vida, en suma, dio origen a la sociedad moderna que hoy conocemos.

Durante todo el siglo XX se produjo un crecimiento continuo del gasto energético, a partir de entonces se observó que las personas comenzaron a mostrar interés por vivir en desarrollos urbanos y adoptar un estilo de vida de confort que depende en gran medida del aumento de consumo energético individual para satisfacer sus necesidades. Desde los inicios de la revolución industrial hasta la fecha, el consumo energético individual se ha incrementado de una forma exponencial como se muestra en la tabla II.

Tabla II. Consumo diario de energía en diferentes etapas del desarrollo humano en miles de kcal /persona día					
Etapa	Alimentos	Industria Agricultura	Comercial Residencial	Transporte	Total
Hombre recolector	2.6	-	-	-	2.6
Hombre cazador	3	-	2	-	5
Agricultor primitivo	4	4	4	1	13
Agricultor avanzado	3.5	7	12	1	24
Hombre industrial	3.5	24	32	14	74
Hombre moderno	3.5	91	66	63	224
Fuente: Elaboración propia, en base en: González V J. 2009, Energías renovables, editorial Reverté, Barcelona					

¹² El petróleo gas y carbón son fuentes de energía química que se convierte en calor para posteriormente transformarse en electricidad a través de las centrales termoeléctricas. Cuando se queman en el caso de los transportes la energía se transforma en energía mecánica, cuando se trata de las estufas o calentadores se trata de energía térmica.

En 2012 la producción mundial de energía primaria total fue de 13,371 Millones de toneladas equivalentes de petróleo [Mtep].

Destaca que la principal fuente de energía primaria proveniente de combustibles fósiles, para 1973 representó el 86.7 % del total, para el año 2012 representó el 81.7 del total, como se muestra en la tabla III.

Tabla III. Producción mundial de energía primaria, 1973-2012.					
Recurso	1973	1973	2012	2012	Cambio porcentual
	Mtep	[%]	Mtep	[%]	
Petróleo	2815	46.1	4198	31.4	49
Gas Natural	977	16.0	2848	21.3	192
Carbón *	1502	24.6	3878	29	158
Total Fossil	5294	86.7	10924	81.7	106
Nuclear	55	0.9	642	4.8	1068
Hidro	110	1.8	321	2.4	192
Bio comb	641	10.5	1337	10	109
Otros **	6	0.1	147	1.1	2309
Total	6106	100	13371	100	119
* Incluye peat and oil shale. ** Incluye geotermica, solar, eólica calorifica etc. Fuente. Elaboración propia, en base a datos de Key world energy					

KWE Referencia 2014 AIE

El 81.7 % de la energía primaria es suministrado a partir de combustibles fósiles, el 10 % proviene de biocombustibles y basura, el 4.8 % proviene de fuentes nucleares y sólo el 3.5 % proviene de energías renovables.

La actividad económica mundial, basa su producción en el consumo de energía fósil. Al ritmo actual de consumo energético se estima que el petróleo durará 53 años, el gas natural 55 años y el carbón 113 años (ver la Tabla IV) Cuando se acabe uno de ellos, según la mentalidad actual, será remplazado por otros vectores energéticos.

Tabla IV. Producción y reservas probadas de combustibles fosiles mundiales y de México. 1993-2013								
	Producción			Reservas probadas.				Ratio R/P
	2003	2013	Unidades	1993	2003	2013	Unidades	2013
Mundial	77639	86808	Mbd	1041.4	1334.1	1687.9	MMMb	53.3
Petróleo	2621.3	3369.9	10 ⁹ m ³	118.4	155.7	185.7	10 ¹² m ³	55.1
Gas Natural	2572.3	3881.4	MMtep	-	-	891531	MMt	113
México								
Petróleo	3795	2875	Mbd	50.8	16	11.4	MMMb	10.6
Gas Natural	41.7	56.6	10 ⁹ m ³	2	0.4	0.4	10 ¹² m ³	6.1
Carbón	4.4	8.3	MMtep	-	-	1211	MMt	73
%								
Petróleo	4.9%	3.3%		4.9%	1.2%	0.7%		
Gas Natural	1.6%	1.7%		1.7%	0.3%	0.2%		
Carbón	0.2%	0.2%				0.1%		

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de BP Statistical Review of World Energy, June 2014. M=Miles, MM=Millones, MMM=Miles de millones.

La confianza que se depositó en esta industria durante el siglo XX, ahora se convierte en una incertidumbre para el siglo XXI, cuestionando si la era de los recursos fósiles está por concluir ¿Qué ocurrirá con el modo de vida actual (producción distribución y consumo) si la producción de petróleo alcanza su momento crítico? ¿Gobiernos y empresas tienen algún plan para garantizar un cambio paulatino a nuevos combustibles, tecnologías energéticas y patrones de producción? ¿Qué nuevas relaciones sociales de producción se tienen en puerta?

Ante esta situación, existe un escenario de agotamiento del petróleo (crisis energética) y al mismo tiempo el cambio climático (crisis ambiental). En México no hay a nivel de política de Estado una definición clara de transición energética.

Comercio mundial de energía

Los principales países productores de energía primaria en el 2012 fueron China con 18.8 %, EUA con 13.4 % y Rusia con 9.9 %. México ocupó el lugar número 12 con 1.6 % de la energía primaria total producida en el mundo.

Las exportaciones totales de energía primaria y secundaria en el 2012 fueron de 5,181 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Los países con mayor volumen de exportación de energía fueron Rusia (11.4 %), Arabia Saudita (8.5%), Indonesia (5.4%),

Estados Unidos (5.0%), y Canadá (4.9 %). México ocupó el lugar número 20 con una participación del 1.5 % de las exportaciones.

Los países con mayor importación de energía fueron Estados Unidos (12.3 %) China (9.9%), Japón (8.7 %), India (6.1 %) Corea del Sur (5.6 %). México ocupó el lugar número 10 con una participación del 1.0 %, como se muestra en la Tabla V.

Tabla V. Principales países productores, exportadores e importadores de energía 2012.			
País	Productor %	Exportación %	Importador%
China	18.8		9.9
EUA	13.4	5.0	12.3
Rusia	9.9	11.4	
Arabia Saudí	4.6	8.5	
India	4.0		6.1
Indonesia		5.4	
Canadá		4.9	
Japón			8.7
Corea del Sur			5.6
México	1.6	1.5	1.0
Fuente: Elaboración propia. Con base en: IEA (2014), Key World energy statistics, IEA, US.			

Precios del petróleo.

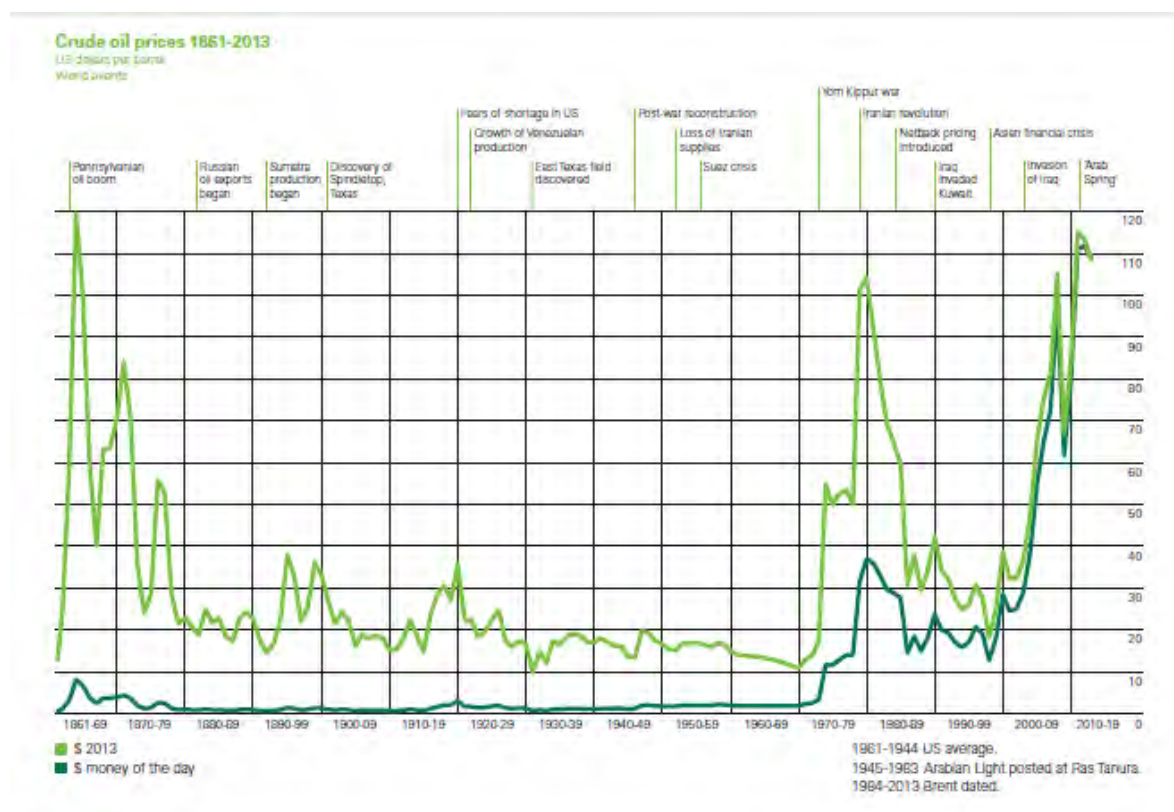
El precio del petróleo está fijado por los costos de extracción, transporte, distribución, ganancias y acuerdos. El vector de precios del petróleo permaneció a 2 dólares el barril (corrientes) desde 1870 hasta 1973, prácticamente sin cambios durante 100 años. En el mismo periodo los precios del petróleo oscilaron alrededor de 20 dólares el barril (constante 2013).

A partir del shock petrolero en 1973-1974 los precios del petróleo, que llegaron a 38 dólares por barril (corrientes), resaltaron la importancia de la energía en el desarrollo económico de

los países, desde entonces, académicos, investigadores gobiernos, empresas la iglesia católica¹³ han mostrado un interés por desarrollar estudios de energía y economía.

Queda claro que factores políticos juegan un papel principal en la fijación de los precios del petróleo. Ejemplos de esto son la guerra Yom Kppur, la revolución iraní en la década de los 70's, la crisis financiera de los países asiáticos a finales de los 90's y la invasión a Iraq a inicios de los 2000 (ver gráfico 1).

Gráfico I. Precios del petróleo. 1861-2013.



Fuente: Tomado de BP. (2014), P.19.

Energía y Desarrollo.

La energía es un bien fundamental para la evolución y desarrollo de la vida, y un insumo indispensable para las actividades económicas, a pesar de ello, la energía *per se* no satisface necesidades humanas, es el medio por el cual se logran satisfacer necesidades. Es importante

¹³ Francisco, Santo padre, (2015), Carta Encíclica, Laudato Si, Sobre el cuidado de la casa común, Tipografía vaticana.

para la economía porque representa la capacidad de realizar trabajo y transformaciones, es intrínseco a los fenómenos económicos y está asociada como insumo para lograr las condiciones materiales que generan bienestar.

La energía desempeña un papel fundamental para el crecimiento económico¹⁴:

- Para algunos países la energía desempeña un papel central en la generación de ingresos derivados de la explotación, comercialización, pago de impuesto y la renta de recursos naturales.
- El proceso económico demanda un determinado consumo de energía, para lograr la satisfacción de necesidades el consumo se vuelve una condición necesaria para el crecimiento de la economía.

En la Tabla VI se muestran algunos datos que ponen en evidencia la relación que existe entre la energía y el crecimiento económico y el desarrollo.

Tabla VI. Indicadores de desarrollo, crecimiento económico, impacto ambiental y utilización de energía							
	A	B	C	D	E	F	G
Países menos	1328	0.518	4	12.5	75.9	106	0.4
Países en desarrollo	4359	0.694	4.6	3.8	25.5	1155	36.9
América Latina, Caribe	7404	0.797	6.1	3.8	19.8	1927	5.6
OCDE	25915	0.892	5.1	3	4.1	8615	51
Países OCDE más ricos	30181	0.911	5.2	2.9	3	10262	46.2
A. PIB/POB PPC US \$					F. Consumo de electricidad por habitante [kWh]		
B. IDH (Índice de desarrollo humano)					G. Emisiones de CO2 {parte en el total mundial en %}		
C. PIB/ENERGÍA UTILIZADA [PPC US \$ / KG EQ. PETROLEO]							
D. PIB/UNIDAD DE ELECTRICIDAD UTILIZADA [PPC US \$/ kWh]							
E. Consumo de combustible tradicional [% del consumo total de energía]							
Coeficientes de correlacion A-X	Corr A-B	Corr A-C	Corr A-D	Corr A-E	Corr A-F	Corr A-G	
	0.8738399	0.3327086	-0.6132155	-0.7749833	0.9995652	0.7889823	
Coeficientes de correlacion B-X		Corr B-C	Corr B-D	Corr B-E	Corr B-F	Corr B-G	
		0.7010097	-0.891104	-0.9692351	0.8623647	0.728134	
Fuente: Elaboración propia con base a datos de: Romerio Franco, La energía como fuente de crecimiento y desarrollo en la perspectiva del fin de la era de los combustibles fósiles.							

Países menos desarrollados

¹⁴ Gil García, (2014) La energía en cifras, Perspectivas globales. Ed. Alfaomega. México P 52.

Como podemos observar existe una correlación positiva de 0.87 entre el crecimiento y el desarrollo, porque el índice de desarrollo incorpora en su metodología el producto per cápita. Podemos observar una correlación negativa (-0.969) entre el desarrollo y el consumo de combustible tradicional, observamos una relación más fuerte (0.9995) entre el producto per cápita y el consumo de electricidad por habitante, esto se debe a que la energía eléctrica teóricamente puede ser consumida en un 100 % y los combustibles tienen restricciones físicas. El consumo de energía es consecuencia y al mismo tiempo factor de crecimiento y desarrollo económico.

La energía es un insumo indispensable en los procesos económicos, por lo tanto, una escasez energética ya sea por su oferta, demanda, fines o medios impactará en los precios de todo el circuito económico. Además, un incremento de los precios o una falta de suministro energético impactan en el bienestar.

Las estrategias de desarrollo adoptadas desde la década de los 40's privilegian el crecimiento económico de corto plazo, con un aumento de los medios de producción y una modernización en los estándares de la calidad de vida. La industrialización, la instrumentación de proyectos de infraestructura, la explotación de recursos minerales, agrícolas y ganaderos con fines de exportación forman parte de la estrategia que produce importantes consecuencias negativas al medio ambiente.

A finales de la década de los 70's y principios de los 80's se ha observado una preocupación creciente por los problemas ambientales. 40 años después podemos afirmar que las medidas adoptadas para resolver los problemas ambientales generados por la actividad humana son insuficientes. Intereses políticos y económicos, falta de información, costos elevados, incentivos económicos mal dirigidos, falta de educación ambiental, escasos centros de investigación y recursos humanos especializados en el tema, son algunas de las limitantes para dar una solución a dichos problemas locales y mundiales.

En las economías pobres es muy común que los problemas de contaminación ambiental sean considerados como “el precio del crecimiento económico”. Se tiene la idea de que la

degradación ambiental disminuye conforme las economías tienen un mayor ingreso per cápita (curva ambiental de Kuznets) sin embargo, se ha observado que el crecimiento económico no es la solución a los problemas ambientales.¹⁵ Proteger el medio ambiente debe ser preocupación de economías pobres y ricas ¿Cómo lograr ese crecimiento económico sin degradar el medio ambiente?

Aunque la problemática de los recursos naturales y la degradación ambiental es muy compleja, la economía suele encuadrarla en dos problemas principales: 1.- el momento y la cantidad de extracción; 2- el acceso a los recursos. La primera cuestión se refiere a la comparación entre el valor del recurso in situ o su valor en usos alternativos: la segunda tiene que ver con el régimen de propiedad de los recursos naturales

Las pautas de crecimiento actuales muestran que para lograr incrementar la producción es necesario consumir más energía^{16 17}. En términos físicos, la inversión productiva representa una mayor demanda de materias primas y energía, es decir, la demanda de energía es directamente proporcional al crecimiento económico

$$\text{Demanda de energía} \propto \Delta \text{PIB}$$

de esta forma la correlación que se encuentre entre crecimiento económico demanda de energía es positiva y cercana a uno, como se muestra en la Tabla VI.

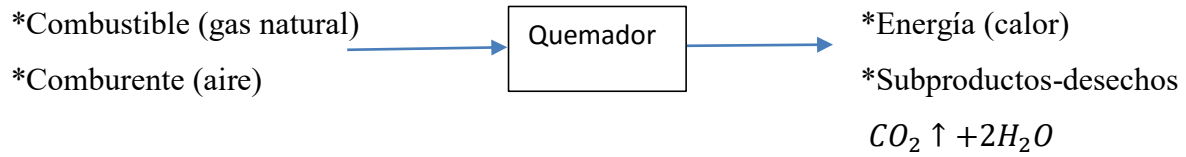
El crecimiento económico estará vinculado con un aumento en la quema de combustibles. La relación existente entre los combustibles y los contaminantes se asocia con la primera ley de la termodinámica (la materia y la energía no se crean ni se destruyen sólo se transforman).

¹⁵ Arrow, Bolin, Constanza, Dasgupta, (1995), Economic Growth, carrying capacity and the environment, Science, vo. 268 P. 520-521

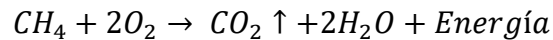
¹⁶ Kare M (2014), La nueva geopolítica energética de Estados Unidos: de la escasez a la abundancia, En: Vanguardia (dossier), la geopolítica de la energía núm. 53. Barcelona p 22-29.

¹⁷ Xu, Qinhua (2014), La sed de China, Japón, Corea del Sur e India: consecuencias geoestratégicas en los próximos años, En: Vanguardia (dossier), la geopolítica de la energía núm. 53. Barcelona p 32-39.

Para ejemplificar, representaré el proceso de obtención de energía por medio de la quema de un combustible fósil común: gas natural¹⁸. El diagrama que representa una reacción de combustión es el siguiente:



La expresión que representa el balance de materia (primera ley de la termodinámica) es la siguiente:



Donde el calor de combustión (energía que se obtiene al quemar el combustible) del gas natural (metano CH_4) es de $\Delta H_c^0 CH_4 = -890.4 \frac{kJ}{gmol}$, lo cual quiere decir que por cada 890.4 kJ de energía debemos quemar 1 mol¹⁹ de metano y al mismo tiempo obtendremos una mol de CO_2 y dos moles de H_2O . Lo anterior quiere decir que siempre se obtendrá como subproducto bióxido de carbono cuando se obtenga energía a partir de un combustible. Las emisiones de CO y CO_2 de cada combustible depende de su composición química. La Tabla VII muestra los factores de emisión de CO_2 para los principales combustibles.

¹⁸ La composición del gas natural es muy variada y en gran medida depende del yacimiento del que fue extraído. Alrededor del 90 % es metano, contiene trazas significativas de etano, propano, butano, pentano, nitrógeno y bióxido de carbono. En este ejemplo simplificamos y consideramos metano al 100%.

¹⁹ William Ostwald introdujo en 1896 la palabra mol, tomándola del latín que significa “montón”. Representa la cantidad de sustancia, se compone de 6.022×10^{23} moléculas.

Tabla VII. Factores de emisión considerados para evaluar las emisiones de CO ₂	
Componente	[tCO ₂ /Pj]
Carbón	92708
Petróleo crudo	72600
Condensados	62751.3333
Gas asociado	55819.5
Coque de Carbón	92708
Coque de petróleo	99825
GLP	62436
Gasolinas	68607
Querosenos	70785
Diesel	73326
Combustóleo	76593
Gas natural	55819.5
Leña	109633.3333
Bagazo	109633.3333
Fuente: Elaboración propia con datos de: IPCC (2013),	

En la actualidad, a nivel mundial el carbón se utiliza básicamente para generar energía eléctrica. A pesar del aumento del uso del gas natural y de fuentes renovables como la solar, hidroeléctricas, o la eólica, alrededor de la mitad de toda la energía que se emplea en la generación de electricidad a nivel mundial procede del carbón²⁰, 250 años después de la revolución industrial.

El uso de tecnología avanzada en las centrales de generación eléctrica a base de combustibles fósiles puede ayudar a la des-carbonización (la mayoría de los estudios sobre cómo pueden reducirse las emisiones a bajo costo se basan en el concepto de eficiencia energética). Las centrales más eficientes y modernas son capaces de reducir sus emisiones de CO₂ hasta en un 40 % respecto a una central estándar, además de limitar su emisión en otros contaminantes como los NO_x, los SO_x u otros contaminantes²¹.

²⁰ Cook, G, (2014), El carbón y las emisiones de carbono, cómo devolver el genio a la botella, En: Vanguardia (dossier), la geopolítica de la energía núm. 53. Barcelona p 94-99.

²¹ *Ibíd.*, p 97.

El crecimiento económico es considerado como una gran bondad que permite elevar el bienestar de vida generalizado de la población. La pobreza significa un consumo limitado²² de bienes. Salir de la pobreza significa incrementar el consumo y a su vez incrementar desechos materiales y energéticos.

El cambio climático es el primer problema global que enfrenta la humanidad, la mitigación de los precursores debería de ser una prioridad nacional y mundial. Apuntar hacia la elaboración y utilización de herramientas que contribuyan a la formulación de soluciones prácticas y viables es uno de los retos de la academia.

El *desacoplamiento* de la economía con la energía consiste en incrementar la eficiencia energética, es decir, generar la misma cantidad y calidad de producto²³ con menos energía, aquí se deben de tomar medidas en el consumo de energía y en el uso eficiente de energía.

La *des-carbonación* de las economías involucra incrementar la eficiencia energética (porque de esta forma se reducen las emisiones de monóxido de carbono *CO* y de bióxido de carbono *CO₂*), que también involucra realizar importantes acciones en los procesos industriales, generen energía o no, en este sentido, las acciones van orientadas en hacer más eficientes los procesos productivos, la transición energética e incentivar la tecnología de almacenamiento y captura de carbono.

El desafío para la economía es poner en marcha los incentivos, establecer normas, crear fondos, financiamiento y la política de apoyo, en suma es necesaria la combinación de diversos factores de mercado²⁴ para atraer los montos de inversión para el despliegue de la nueva tecnología y la modernización de la planta productiva, inversión en centros de investigación, en recursos humanos, educación ambiental, etc.

²² Es decir, menor al estándar definido socialmente.

²³ Producto se refiere a producto nacional o Producto Interno Bruto PIB.

²⁴ Entre los países más importantes de petróleo y gas del mundo, **únicamente Noruega** ha creado un **fondo** para invertir los ingresos del crudo pensando el **futuro del país**.

Desarrollo del sector energético en México

En esta sección se aborda el desarrollo del sector energético en México desde la instalación de la primera planta generadora de energía eléctrica a la actualidad. Tratamos de destacar las transformaciones asociadas a las etapas productivas y los requerimientos energéticos de acuerdo al modelo económico dominante.

A lo largo de la historia energética del país podemos diferenciar tres etapas: el primer periodo que corresponde a los años comprendidos entre 1900-1938, se caracteriza por una economía con un modelo primario exportador, con la participación de empresas multinacionales que contaban con un control casi absoluto del mercado petrolero, por otro lado, en la generación de energía eléctrica participaron empresas multinacionales como productoras de su propia electricidad. La segunda etapa es caracterizada por la nacionalización de la industria petrolera (principalmente) y la eléctrica, como promotoras del crecimiento económico y que se articula con el modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones [ISI]. La tercera etapa corresponde a la denominada Neoliberal, donde se reabre el sector petrolero y eléctrico a la inversión privada y pública de las grandes multinacionales, bajo un esquema diferente a la privatización, basado en la inversión pública y privada en su conjunto.

El desorden nacional y la era de las multinacionales.

Desde la época colonial, México era un país primario exportador debido a su amplia dotación de recursos naturales.²⁵ La primera planta generadora de energía eléctrica que se instaló en el país fue en 1879 estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil “La Americana”, casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y marginalmente, para la iluminación residencial y pública.²⁶

El desarrollo de la industria petrolera en México comenzó en el año de 1900 cuando los norteamericanos Charles A. Candfield y Eduard L. Doheny adquirieron 162 mil hectáreas entre los Estados de San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz con el objeto de fundar la empresa “Mexican Petroleum of California” que perforó y explotó el primer pozo petrolero

²⁵ Wionczek M, Gutiérrez R, Guzmán O, Posibilidades y limitaciones de la planeación energética en México. COLMEX, México, 1988, P. 26.

²⁶ CFE, CFE y la Electricidad en México, disponible en el portal de la CFE: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx consultado el 21 Marzo 2015.

en 1901²⁷. Desde entonces la producción siguió una curva ascendente y es cuando se puede hablar de un sistema energético²⁸ nacional, el petróleo empezó a convertirse en uno de los principales productos de exportación. México llegó a ser el segundo exportador mundial de crudo a inicios de la década de los años 20's. "México producía 1 % del petróleo mundial en 1910, para 1921 producía el 25 %, siendo el segundo lugar después de Estados Unidos"²⁹

El crecimiento en las ventas de este recurso fue determinado por el mercado externo y por el cambio tecnológico en la revolución de los transportes. La producción en serie y la primera guerra mundial encausaron al petróleo como el combustible ideal. El gobierno mexicano otorgó los derechos de explotación a las empresas multinacionales³⁰, se calcula que entre 1900 y 1937 se invirtieron 100 millones de dólares y se exportaron por utilidades entre 1000 y 5000 millones de dólares³¹. Fue en 1912 cuando se estableció un impuesto de 20 centavos a la producción de petróleo que se aumentó en los años siguientes, lo cual representó una importante fuente de ingresos para los gastos crecientes del Estado debido a la revolución³². Durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas "de arco" en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México³³.

Entre 1901 y 1938 se realizaron fuertes inversiones estadounidenses en la industria petrolera mexicana. Desde 1910 el 60 % de las inversiones petroleras de los Estados Unidos en el exterior se hicieron en México, pero para 1924 descendieron a 24 % debido a una mayor

²⁷ Álvarez J, (2006), Crónica del petróleo en México, de 1863 a nuestros días, Archivo histórico de Petróleos Mexicanos, PEMEX México, P 30.

²⁸ El IPCC, en el capítulo 7 del 5º Informe se refiere al sistema energético como los procesos de extracción, conversión, almacenamiento, transformación y distribución de energía. Una concepción integral de los sistemas energéticos engloba el aprovisionamiento energético, desde la producción hasta el consumo final pasando por transformación, transmisión y transporte (Bhattacharyya S. 2011)

²⁹ Moreno- Brid y Ros J, Desarrollo y crecimiento en la economía mexicana. Una perspectiva histórica, México, FCE, 2010, p 108.

³⁰ En 1901 se dictaron las primeras leyes petroleras; que otorgaron las concesiones y privilegios a quienes explotaban el petróleo. Las facilidades consistían en exenciones de impuestos internos, de importación de maquinaria y facilidades para operar.

³¹ Herrera I, González E "Recursos del subsuelo, Siglos XVI al XX" en Semo E.: (coord.) Historia Económica de México, México: UNAM-Océano 2004, P 99.

³² *Ibíd.* P 102

³³ CFE, CFE y la Electricidad en México, disponible en el portal de la CFE: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx consultado el 21 Marzo 2015.

atracción en otras regiones, una baja en la producción de los yacimientos mexicanos, los cambios legislativos introducidos en la constitución de 1917 y más tarde la crisis de 1929³⁴.

Es importante resaltar que el volumen de la producción de petróleo crudo en 1910 fue de 3 millones de barriles anuales y pasó a 32 millones de barriles en 1915 y a 157 millones de barriles en 1920, creciendo 806 % en el periodo 1910-1915 y 377 % en el periodo 1915-1920, (ver Tabla VIII) se detecta este importante crecimiento de la industria petrolera a pesar de la revolución.

Volumen de la producción de petróleo crudo		Reservas total de hidrocarburos		Capacidad nominal de refinación*1		Elaboración de derivados del petróleo			Trabajadores	
Año	Miles de barriles	Miles de barriles	Miles de barriles	Mil de bar	%de la prod	Miles b	%de la prod	% elab/cap	Miles	
1901	10	TCPA	-	-	-	-	-	-	-	
1905	251	2410%	-	-	-	-	-	-	-	
1910	3634	1348%	-	-	-	-	-	-	-	
1915	32911	806%	-	-	-	-	-	-	-	
1920	157069	377%	-	-	-	-	-	-	-	
1925	115515	-26%	-	-	-	-	-	-	-	
1930	39530	-66%	-	-	-	-	-	-	-	
1935	40241	2%	-	-	-	-	-	-	-	
1940	44045	9%	1225000	27.8	51611	117.18%	31755	72.10%	62%	21.9
1945	43543	-1%	1515000	34.8	59787	137.31%	43070	98.91%	72%	25.6
1950	72422	66%	1608000	22.2	76029.5	104.98%	55845	77.11%	73%	34.1
1955	89395	23%	2751000	30.8	108040	120.86%	80665	90.23%	75%	43.3
1960	99049	11%	4787000	48.3	167681	169.29%	101835	102.81%	61%	46.7
1965	117959	19%	5078000	43.0	203597	172.60%	127020	107.68%	62%	53.9
1970	156586	33%	5568000	35.6	270830	172.96%	175565	112.12%	65%	71
1975	261589	67%	6338000	24.2	347845	132.97%	240900	92.09%	69%	81.2
1980	708454	171%	60126000	84.9	683645	96.50%	415735	58.68%	61%	113.3
1985	960114	36%	70900000	73.8	871255	90.74%	460265	47.94%	53%	149.2
1990	930020	-3%	66450000	71.5	1052112.5	113.13%	480705	51.69%	46%	167.9
1995	955278	3%	63220000	66.2	1045360	109.43%	486910	50.97%	47%	124.3
2000	1099380	15%	58204000	52.9	1040250	94.62%	453695	41.27%	44%	-
2005	1216655	11%	46914000	38.6	1030760	84.72%	488370	40.14%	47%	-
2010	940605	-23%	43074000	45.8	-	-	-	-	-	-
2013	920530	-2%	44530000	48.4	-	-	-	-	-	-

*1 Incluye destilación primaria (fraccionamiento de líquidos del gas natural), desintegración (plantas catalíticas y térmicas) y reducción de viscosidad. Fuente: Elaboración propia, en base a INEGI, (2010) Estadísticas históricas en México, Pemex, reporte de labores.

Durante la década de 1920 existieron diversos intentos por parte del Estado mexicano para aplicar las normas correspondientes de control estatal sobre los recursos de la Nación establecidos en la constitución de 1917, motivo de disputas entre el gobierno y empresas privadas³⁵. En 1936 el Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana solicitó a las empresas petroleras contrato colectivo de trabajo, aumento salarial y sindicalización, las empresas se negaron. En 1937 estalló la huelga, el fallo de la comisión

³⁴ Herrera I, González E (2004), Op cit. P 98

³⁵ González, F. A, Historia y petróleo México: El problema del petróleo, Ed. Ayuso España, 1972, P 107.

fue a favor de los trabajadores, las empresas lo rechazaron. El 12 de marzo de 1938 la Suprema Corte ratificó la decisión, nuevamente las empresas se negaron. Ante la rebeldía de las empresas, el 18 de Marzo de 1938 Lázaro Cárdenas declaró expropiadas las 16 empresas petroleras existentes en México³⁶. A partir de entonces, el nuevo perfil de la industria petrolera en México coincide con una nueva era que transformaría la economía mexicana de primordialmente agrícola hacia una economía industrializada. Las decisiones tomadas por Cárdenas servirían como base para impulsar el crecimiento económico que caracterizó los años por venir.

El proceso de industrialización en México y la empresa nacional.

En la década de los 40's América Latina se vio influenciada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] para implementar el modelo económico de Industrialización por Sustitución de Importaciones [ISI], que se caracterizó por un gran proteccionismo de la industria nacional. En México el modelo ISI se implementó en 1947 y tenía como objetivo generar crecimiento económico por medio de la industrialización, el mecanismo consistía en sustituir bienes que antes se importaban por bienes nacionales. En un primer momento sustituir bienes de consumo final, paulatinamente sustituir bienes intermedios y finalmente bienes de capital. En el periodo de 1939-1952 destaca la participación del Estado en la economía tanto de manera directa (por medio de empresas estatales) como indirecta, estimulando la actividad económica con inversiones en infraestructura y política de estímulo y protección al desarrollo industrial³⁷.

Las tasas de crecimiento del PIB en México a partir de los años 40's fueron muy dinámicas. Para lograrlo, la oferta de energéticos creció a niveles mayores a los del producto agregado, esto se debe a un fenómeno que se presenta en las primeras etapas del proceso de industrialización de cualquier país³⁸. La elasticidad de ingreso de la demanda de energía es sensiblemente superior a la unidad. Como consecuencia no es de asombrar que desde principios de la década de los 50's la capacidad instalada de la industria eléctrica haya crecido

³⁶ Lorenzo Meyer e Isidro Morales, *Petróleo y nación (1900-1987)*. La política petrolera en México, FCE, México, 1990. P 75.

³⁷ De la Peña y Aguirre, "De la revolución a la industrialización." En: *Historia económica de México*, coordinador Enrique Semo, Océano-UNAM, 2006, P 351

³⁸ Wionczek M, Gutiérrez R, Guzmán O, 1988, P. 29.

a tasas cercanas de un 10 % anual (ver Tabla IX). Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando se decretó que la generación y distribución de electricidad fueran actividades de utilidad pública. En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas: The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país; el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente.

El gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad [CFE], que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales³⁹. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales. Destaca que la producción de energía eléctrica desde 1900 hasta 1950 en su mayoría era generada con la fuerza motriz del agua. A partir de 1950 las centrales termoeléctricas⁴⁰ son las principales generadoras de energía eléctrica. Hacia 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,321 MW⁴¹ de capacidad instalada, la empresa Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el resto de las compañías 9%.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica el 27 de septiembre de 1960. A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. En 1970 la potencia instalada era de 7414 MW, y en 1975 de 11210 MW (ver Tabla IX).

³⁹CFE, CFE y la Electricidad en México, disponible en el portal de la CFE: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx consultado el 21 Marzo 2015.

⁴⁰ Las centrales termoeléctricas aprovechan la energía química contenida en los combustibles (generalmente derivados del petróleo) para posteriormente convertirla en energía mecánica y a través de un turbogenerador transformarla en energía eléctrica.

⁴¹ La razón de tiempo de energía se llama potencia, sus unidades son el watt ($1W=1J/s$). La energía eléctrica se expresa en la unidad kilowatt-hora [kWh] ($1kWh=3600kJ$). $1MW=10^6W$, $1GW=10^9W$

Año	Capacidad instalada para la generación de energía eléctrica					Generación de energía eléctrica bruta por tipo de sector						Generación por tipo de planta			
	Público	Privado	Total	% Público	% Privado	Público	Privado	Total	Variación total	% Público	% Privado	Hidráulica	Térmica	%	% Térmica
	[MW]	[MW]	[MW]			GWh	GWh	GWh					GWh	GWh	Hidráulica
1900	-	-	18	-	-	-	-	56	%	-	-	56	0	100%	0%
1910	-	-	99	-	-	-	-	376	571%	-	-	376	0	100%	0%
1920	-	-	192	-	-	-	-	735	95%	-	-	725	0	99%	0%
1930	-	-	411	-	-	-	-	1773	141%	-	-	1098	675	62%	38%
1940	479	148	627	76%	24%	2136	393	2529	43%	84%	16%	1698	831	67%	33%
1945	519	146	720	72%	20%	2499	570	3069	21%	81%	19%	2092	977	68%	32%
1950	916	223	1234	74%	18%	3549	874	4423	44%	80%	20%	1949	2474	44%	56%
1955	1458	365	1929	76%	19%	5851	1017	7261	64%	81%	14%	3463	4798	48%	66%
1960	2321	562	3058	76%	18%	8563	1725	10813	49%	79%	16%	5174	5639	48%	52%
1965	4175	887	5238	80%	17%	14208	2200	17245	59%	82%	13%	8864	8382	51%	49%
1970	6029	1210	7414	81%	16%	25189	2419	28608	66%	88%	8%	14992	13616	52%	48%
1975	9830	1218	11210	88%	11%	40879	2959	44820	57%	91%	7%	15163	29657	34%	66%
1980	14625	2237	16985	86%	13%	61868	3857	66924	49%	92%	6%	16892	50032	25%	75%
1985	20807	3262	24069	86%	14%	85352	7244	93053	39%	92%	8%	26087	59265	28%	64%
1990	25293	2968	28261	89%	11%	114317	8432	122749	32%	93%	7%	23332	90985	19%	74%
1995	33037	2400	35437	93%	7%	142344	9200	151544	23%	94%	6%	27528	114817	18%	76%
2000	36213	3807	40020	90%	10%	191426	11576	203002	34%	94%	6%	33075	158343	16%	78%
2005	38283	7326	45609	84%	16%	171601	29108	200709	-1%	85%	15%	27611	143985	14%	72%
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, en base a INEGI, (2010) Estadísticas históricas en México.

A partir de la década de los 40's se consolidó y se expandió la industria petrolera bajo la administración de Pemex, quien se encargó de la producción, refinación y comercialización del petróleo en una integración vertical. El objetivo de la explotación petrolera en este periodo hasta los años 70's consistió en asegurar la producción interna de hidrocarburos⁴²

En 1940 se inició la operación de la refinería de Poza Rica, Veracruz, con una capacidad de 5 mil barriles diarios [bd] en 1946 se inauguró la refinería de Azcapotzalco, DF., con una capacidad de 50 mil bd, en 1950 inicio operaciones la refinería de Salamanca, Guanajuato, con una capacidad de 30 mil bd. En ese mismo año entró en operaciones la refinería de Reynosa, Tamaulipas, con una capacidad de 4 mil bd; en 1956 se inauguró la refinería de Minatitlán, Veracruz, con una capacidad de 50 mil bd; en 1951 se inauguró la planta de petroquímica básica en Poza Rica, Veracruz, con lo cual se daba inicio a la industria petroquímica mexicana; en 1966 se creó el Instituto Mexicano del Petróleo [IMP]; en 1977 se impulsó la refinería Miguel Hidalgo, en Hidalgo, con una capacidad de 150 mil bd; finalmente en 1979 se inauguraron las refinerías Ing. Héctor Lara Sosa en Caderyta, en Nuevo León, con una capacidad de 150 mil bd y la refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime en Salina Cruz, Oaxaca, con una capacidad de 165 mil bd⁴³. Esto refleja una verdadera preocupación por el procesamiento de crudo, satisfacer la demanda interna y generar valor agregado, (ver Tabla VIII). Sin embargo, la capacidad de ampliación de Pemex desde el

⁴² Herrera I, González E, 2004, Opcit. P 107.

⁴³ Oropeza, M, 2010, Opcit. P 96.

inicio se vio limitada por los altos impuestos que debía pagar al gobierno,⁴⁴ desde entonces, se inició la descapitalización en Pemex.⁴⁵

Autores como Enrique Cárdenas⁴⁶ postulan los años 60's como la década a la que hay que aspirar por que el PIB creció un 6.16 % entre 1963 – 1971 y el PIB per cápita 3.6% en el mismo periodo. El crecimiento económico fue acompañado por un crecimiento en la población, en la Cd de México la población paso de 5.2 millones a 8.9 millones.

Por otro lado, el proteccionismo industrial no había logrado un verdadero nivel competitivo con el exterior y la balanza de pagos no era favorable para México. La deuda interna del sector público en 1970 era de 53 mil millones de pesos. La deuda externa en 1960 era de 810 millones de dólares y aumentó a 4200 millones de dólares en 1970. Los precios internacionales del petróleo subieron de 2 dólares en 1970 a 12 dólares para 1973, lo cual incentivó la búsqueda de hidrocarburos.⁴⁷

En este cuadro general de la economía, el petróleo fue visto como el recurso que debía contribuir a lograr equilibrar la economía, para ello era necesario colocarlo en el mercado exterior. Antonio Dovalí Jaime, director de Pemex, destinó recursos para localizar nuevas reservas, aumentar el monto de la producción y refinación. Desde 1974 México destacó como exportador de crudo. La política petrolera experimentó cambios fundamentales respecto a subsidios y fijación de los precios internos de los productos petroleros⁴⁸. A partir de 1976 se impulsó una mayor actividad en las áreas de la industria petrolera⁴⁹. La estrategia política del presidente José López Portillo era dar un gran salto en la producción petrolera, por lo que llegó a representar 75 % de las exportaciones totales⁵⁰.

⁴⁴ Entre impuestos y subsidios transfería más del 33 % de sus ingresos brutos al Gobierno. Si a ello le sumamos el pago de la deuda después de la nacionalización de 24 millones de dólares (pacto de 1941-1942) y las tarifas reguladas de precio de venta, esclarece los bajos niveles de reinversión.

⁴⁵ De la Peña y Aguirre, 2006, Opcit, P. 380.

⁴⁶ Cárdenas E, La política económica en México, 1950-1994, FCE-COLMEX, México, 1996. P. 60.

⁴⁷ PEMEX, El Petróleo 50 Aniversario, Petróleos Mexicanos 1988. P 112.

⁴⁸ Herrera I, González E, 2004, Opcit. P 110.

⁴⁹ El aumento productivo de esta época estuvo ligado al descubrimiento de los campos en la Sonda de Campeche, principalmente el caso de Cantarell, que comenzó operaciones en 1979 y que sería el campo petrolero más importante de México y uno de las más grandes a nivel mundial.

⁵⁰ Oropeza, M, 2010, Opcit, P 97.

Para la segunda mitad de los 70's y principios de los 80's el petróleo se ubica como un elemento fundamental para el crecimiento económico. Entre 1970 y 1982 la producción de petróleo creció a una tasa anual superior del 16 % (ver Tabla VIII), en tanto que la oferta total de energía primaria creció 13.4 %. Esto permitió generar excedentes que fueron destinados a las exportaciones, mismas que se convirtieron en los promotores del rápido proceso de crecimiento económico a finales de los 70's. El periodo 1974- 1982 fue una época de auge petrolero con características diferentes al periodo anterior (1940-1973). El destino de los productos petroleros es el mercado exterior y no el mercado interno, El aumento productivo de esta época está ligado al descubrimiento de los campos de la Sonda de Campeche descubiertos en 1976 y una coyuntura internacional favorable fueron las razones principales de esta nueva estrategia.

Para 1970 la producción de petróleo crudo fue de 156 millones de barriles, para 1975 fue de 261 millones de barriles se incrementó un 67 % en 5 años, para 1980 se incrementó a 708 millones de barriles, lo que representó un incremento de 171 % en 5 años. Las reservas totales de hidrocarburos se estimaron en 6338 millones de barriles. Para 1980 se calcularon 60126 millones de barriles, se multiplico por 10. El crecimiento se dio también en actividades completarias, terminales portuarias, almacenamiento, transporte marítimo y ductos, capacidad de refinación, elaboración de derivados del petróleo y empleo el cual pasó de 71 mil trabajadores en 1970 a 141 mil trabajadores en 1985 (ver tabla VIII).

La contracción y la era neoliberal

A partir de 1981, la sobre oferta petrolera mundial y la liberalización de los precios que regulaban la industria petrolera norteamericana, trajeron una caída generalizada de los precios que afectó gravemente a los países productores independientes, como México. La Organización de los Países Productores de Petróleo [OPEP] intentó contrarrestar los efectos de la depresión, estableciendo precios fijos y topes de producción, pero no todos los países miembros se ajustaron a estas acciones, Arabia Saudita, Irán e Irak siguieron produciendo y sobresaturaron el mercado⁵¹. El periodo recesivo de la industria petrolera mundial culminó

⁵¹ Álvarez, J 2000, Opcit. P 134.

con un desplome de precios, que constituyó un golpe muy fuerte para la industria mexicana. En 1980 los precios de exportación de los crudos Itsmo y Maya eran de 19.2 y 16.5 dólares respectivamente, en 1986 habían descendido a 5.8 y 4.6 dólares⁵².

Para mayo de 1981 los precios del petróleo cayeron dramáticamente y las tasas de interés se elevaron, lo que provocó una crisis en la balanza de pagos, que terminaría en la crisis de la deuda para 1982, año en que se dio oficialmente por terminada la fórmula política-económica (ISI) que por décadas le permitió a México crecer con rapidez, de forma sostenida y con notables índices de estabilidad monetaria y política. Nunca se dio una tendencia sostenida a la equidad, pero por un buen número de años tuvo lugar una gradual reducción de la pobreza y la elevación gradual de los niveles de vida promedio.

Después de la crisis financiera y sus secuelas, la caída de los precios de petróleo, el sismo que sacudió la Ciudad de México en 1985 y la imposición de la visión del FMI, respaldaron la idea de que el país requería de una cirugía mayor a la que se denominó como “cambio estructural” que respondía con fidelidad al recetario del consenso de Washington⁵³.

A partir de 1983 la estrategia económica neoliberal se orientó a transferir a los agentes privados y al mercado, gradual pero sostenidamente, las funciones económicas anteriormente asignadas al Estado. Hubo muchos cambios en la estructura de la economía, así como en las relaciones Estado-sociedad. El perfil internacional de la Economía Mexicana cambió espectacularmente y México se volvió un exportador industrial (maquilador).

Los años 80's fueron etiquetados como la “década perdida” para el desarrollo económico de América Latina. Pero se esperaba que a partir de los 90's el modelo neoliberal se tradujera en crecimiento y bienestar. Se consideró la tasa de crecimiento económico para evaluar las bondades del decálogo milagroso. Para 1982 se esperaba un crecimiento del 0 % y una inflación del 55 %, pero en realidad se observó un crecimiento del -4.2 % y una inflación del 88 %; para el año 1986 se esperaba un crecimiento y una inflación del 3 % y del 50 %

⁵² *Ibíd.* P. 137.

⁵³ Calva J, L “Balance de las políticas públicas: La economía mexicana bajo el consenso de Washington” En: Soberanía y desarrollo, el México que queremos. UNAM, México. 2003, P 145.

respectivamente, pero se observó un crecimiento del -3.8% y una inflación del 104.5 %; para la década del 2000 se esperaba un crecimiento del 6.5 % y una inflación del 2 % se observó un crecimiento del 1.6 % y una inflación del 4.7 % como se muestra en la Tabla X.

Tabla X: Principales indicadores macroeconómicos, México, 1934-2012.					
Periodo	TCPA del PIB	TCPA de la inflación	Inversión pública como % del PIB	TCPA de la inversión fija bruta/habitante	TCPA de los salarios mínimos general (reales)
1934-1970	6	6.8	4.9	6.2	4.7
1970-1982	6.2	21.5	9.9	3.6	4.3
1982-2000	2.8	43.9	4.6	1.2	-6.4
2000-2012	1.6	4.7	3.5	0.2	0.5

Fuente: Tomado de: Pacheco Daniel, (2014), La educación como promotora del desarrollo, Tesis de Licenciatura en Economía, UNAM P 23.

La apertura comercial ha significado una especie de “maquila nacional” donde las mercancías importadas son maquiladas con mano de obra barata y posteriormente se exportan.

La severa caída del PIB puede ser explicada por diversas razones, una de ellas es la falta de encadenamiento productivo que no existe con el motor exportador maquilador. La política monetaria da otra explicación: las políticas de dinero caro son un freno a la inversión, por lo tanto reducen el crecimiento económico debido a las altas tasas de interés y un régimen de bajas tasas de inversión⁵⁴. Ambos argumentos convergen: no hay un encadenamiento productivo y por lo tanto el resultado es una producción estancada, sin inversión, sin crecimiento económico, con poco empleo y escasa mejora salarial, (ver Tabla XI). La concentración de la riqueza se ha acentuado en México. Para el año 1984 el coeficiente de

⁵⁴ Perrotini, Ignacio, “Restricciones estructurales al crecimiento de México” en: Economía UNAM # 1, enero-abril 2004 ED UNAM, México 2004, P. 86-100.

Gini⁵⁵ se situaba en 0.477, el cual pasó a 0.538 en 1994 y en el 2000 es de 0.523 estando por arriba de la media de América (0.4603) y África (0.4880)⁵⁶.

En los años 80 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la década anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE. No obstante, en 1990 la capacidad instalada ascendió a 28 GW. A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 40 GW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70 % a nivel nacional. Destaca que más del 70 % de la energía eléctrica es generada en centrales termoeléctricas y un aumento de la participación del sector privado en la generación de electricidad (ver Tabla IX).

En 1990 se inició el “Paquete ecológico” con una inversión de 1638 millones de dólares⁵⁷ de los cuales 778 millones de dólares fueron aportados por bancos extranjeros y que consistió en la construcción de 28 plantas de proceso en el sistema de refinación que se terminaron en 1997. Sus objetivos fueron mejorar la calidad de las gasolinas, diésel y combustóleo⁵⁸. En 1992 se aprobó la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios, la cual desconcentró y descentralizó funciones y recursos de Pemex⁵⁹, creando un corporativo con cuatro subsidiarias: Pemex-Exploración y Producción, Pemex-Refinación, Pemex-Gas y Petroquímica Básica y Pemex-Petroquímica⁶⁰. Por otro lado, se permitió la inversión de capital privado en petroquímica secundaria. Otro aspecto es que la división en subsidiarias ha propiciado que los ingresos del sector petróleo y gas se concentren en Pemex-Exploración y Producción y que las transacciones de petróleo crudo y gas natural deben realizarse con el precio internacional del petróleo y no al costo de producción⁶¹, lo cual puede llegar a generar

⁵⁵ Es una medida de desigualdad, es un número entre 0 y 1. El 0 se corresponde con la perfecta igualdad y donde el valor 1 corresponde con la completa desigualdad.

⁵⁶ Banco Mundial. Índice de GINI, World Development Indicators. Disponible en el portal del Banco Mundial: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI> consultado el 25 de Abril de 2015.

⁵⁷ Este monto es el equivalente al que se requiere para construir una refinería moderna con una capacidad de 150 mil barriles diarios.

⁵⁸ Garifias F.J. y Diaz, L, Gasolinas oxigenadas: La experiencia mexicana (2003), Co-edición UNAM-IMP-FCE. P 124.

⁵⁹ Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios (1992) Artículo 3°

⁶⁰ Esta reestructuración administrativa se organiza bajo el concepto de líneas integradas de negocios que incorpora criterios de productividad, responsabilidad y autonomía de gestión.

⁶¹ Oropeza, M, (2010) Op cit. P. 102.

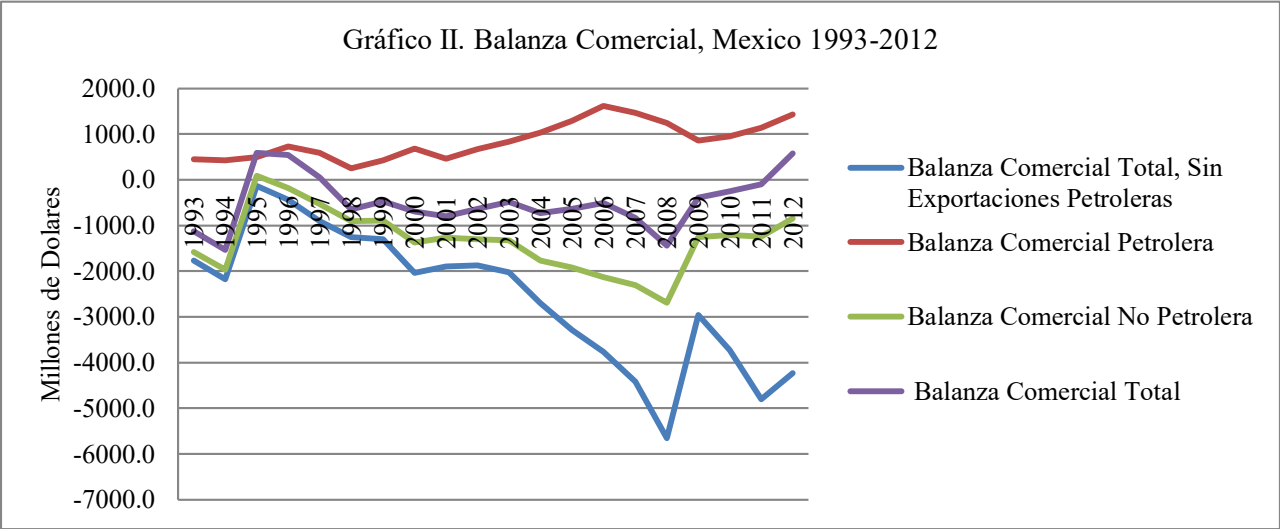
pérdidas, en contraste con las empresas petroleras privadas que obtienen sus principales ingresos de las subsidiarias dedicadas a la industria de la refinación, química y petroquímica.

Para el año 2000, Pemex era la 6ª empresa petrolera más importante del mundo, mientras que en 2008 ocupó el lugar número 11. Lo anterior se explica debido a una contracción en la producción de crudo de -1.35 % anual (ver Tabla VIII) y refinación que a partir de 1990 ha disminuido constantemente (ver Tabla VIII). En 2008 Pemex produjo 2.79 millones de barriles diarios de petróleo crudo, el volumen de crudo refinado fue de 1269 mbd y la producción de gas natural fue de 6918 millones de pies cúbicos diarios; para finales del 2012 la producción de crudo fue de 2.5 millones de barriles diarios (930,020,000 barriles anuales) de los cuales el 49 % se vendió en el exterior: de los cuales el 77 % de las ventas corresponden a petróleo pesado, el 8 % a petróleo ligero y el 15 % a petróleo súper-ligero. Es preciso hacer notar que para el año 2012 se exporta el 49 % de la producción y el diferencial de precios respecto a la calidad (densidad) del crudo es $0.61 = \frac{dp}{d^{\circ}API}$ (ver Tabla XII). Esto debería ser un incentivo para refinar el crudo tipo olmeca y exportar crudo tipo maya.

Tabla XII. Producción, exportación de crudo y precios 2012. México 2012.					
Exportaciones		Participación	Precio	Grados	Densidad
Tipo de crudo	Mb	%	Dól/barril	° API	g/cm ³
Maya	351276	77%	99.79	22	1.0 - 0.92
Istmo	36318	8%	107.28	33.6	0.87 - 0.83
Olmeca	70701	15%	109.39	39.3	< 0.83
Total de exportaciones	458295	100%			
Producción de crudo anual Mb					
Producción anual	930020	Exportación/Producción	49%		
Fuente: Elaboración propia con datos de: INEGI, El sector energético en México 2013.					

El petróleo representa una fuente de ingresos para el Estado, por las ventas de petróleo crudo y por los ingresos fiscales. Los ingresos de las exportaciones de petróleo crudo tienen tres principales usos: 1.- lograr ingresos suficientes para realizar importaciones, 2.- lograr un equilibrio macroeconómico (principalmente en el tipo de cambio y la inflación) 3.- ingresos fiscales que se convierten en gasto público.

El análisis desagregado de la Balanza Comercial nos muestra que la balanza petrolera ha sido superavitaria, la balanza comercial no petrolera es deficitaria. La venta de petróleo es responsable (en gran medida) de equilibrar la economía como se muestra en el gráfico II.



Fuente: Elaboración propia, con datos de Banco de México disponibles en <http://www.banxico.org.mx/ayuda/temas-mas-consultados/balanza-pagos-comercio-exteri.html>

El consumo nacional de energía en el año 1980 fue de 4169 peta Joules [pJ], para el año 2013 se incrementó a 9011.83 pJ, creciendo 116 % en este periodo, con una tasa de crecimiento de 2.36 % anual. El PIB a pesos de 1993 creció 123.1 % en el mismo periodo.

La población se incrementó 75 % pasando de 67.61 millones en 1980 a 118.4 millones en 2013. El consumo de energía per cápita se incrementó un 23 % en el periodo 1980-2013 un 0.64 % anual, por su parte el consumo de energía eléctrica se incrementó un 81 %, (ver Tabla XIII).

Se observa que la relación producción bruta/oferta interna ha reducido el coeficiente hasta alcanzar 1 en el año 2013, lo cual indica que en términos de energía se importa la misma cantidad que se exporta, sin embargo, en términos económicos representa una pérdida social, ya que se exporta energía con bajo valor agregado (petróleo crudo) y se importa energía con alto valor agregado (energía secundaria).

Por su parte, la elasticidad ingreso de la demanda de energía oscila alrededor de cero. Se observa que en periodos de recesión económica tiende a ser menor la demanda de energía y en periodos dinámicos tiende a incrementarse la demanda de energía. Además, vemos una lenta disminución en la intensidad energética, pasando de 4.39 GJ/\$ en 1980 a 4.30 GJ/\$ en 1993 y a 4.25 GJ/\$ en 2013.

En su conjunto la economía mexicana consume más energía a lo largo del tiempo, sin embargo, gasta menos energía para producir una unidad monetaria. Esto no necesariamente indica que los procesos sean más eficientes energéticamente, puede ser explicado por la estructura de la economía, los servicios como los financieros tienen un alto crecimiento en comparación con los otros sectores y no consumen tanta energía como el sector productivo.

Año	A. Consumo nacional de energía (petajoules)	B. PIB nacional (miles de millones de pesos de	C. Población nacional (millones de	D. Intensidad energética (GJ/1\$ producido)	E. Consumo per capita de energía (GJ/hab.)	F. Consumo de electricidad (GWh)	G. Consumo de electricidad per cápita (kWh/hab.)	H. Producción (petajoules)	I. Oferta interna bruta (petajoules)	J. Relación producción entre oferta interna bruta	K. Elasticidad Ingreso de la energía
1980	4169.1	948.6	67.6	4.4	61.7	-	-	-	-	-	-
1981	4466.9	1029.5	69.0	4.3	64.8	-	-	-	-	-	0.8
1982	4812.6	1024.1	70.4	4.7	68.4	-	-	-	-	-	-14.9
1983	4555.7	998.4	71.8	4.6	63.5	-	-	-	-	-	2.1
1984	4619.6	1022.1	73.2	4.5	63.1	-	-	-	-	-	0.6
1985	4730.2	1044.4	74.7	4.5	63.3	-	-	-	-	-	1.1
1986	4606.4	1012.3	76.2	4.6	60.4	-	-	-	-	-	0.9
1987	4824.9	1029.7	77.8	4.7	62.0	-	-	-	-	-	2.8
1988	4898.6	1043.0	79.3	4.7	61.7	-	-	-	-	-	1.2
1989	5175.1	1085.8	80.9	4.8	63.9	-	-	-	-	-	1.4
1990	5161.3	1141.9	82.6	4.5	62.5	92123	1115	-	-	-	-0.1
1991	5343.6	1190.1	84.3	4.5	63.4	94768	1124	-	-	-	0.8
1992	5418.6	1232.2	86.0	4.4	63.0	97570	1134	-	-	-	0.4
1993	5407.1	1256.1	87.8	4.3	61.6	101277	1154	-	-	-	-0.1
1994	5642.5	1312.2	89.6	4.3	63.0	109533	1222	-	-	-	1.0
1995	5487.1	1230.6	91.4	4.5	60.0	113365	1241	-	-	-	0.4
1996	5778.8	1293.8	92.8	4.5	62.3	121573	1310	-	-	-	1.0
1997	6089.9	1381.5	94.3	4.4	64.6	130255	1381	-	-	-	0.8
1998	6509.7	1448.1	95.8	4.5	68.0	137210	1433	-	-	-	1.4
1999	6596.0	1504.9	97.3	4.4	67.8	144997	1490	-	-	-	0.3
2000	6925.3	1604.1	98.8	4.3	70.1	155349	1572	-	-	-	0.8
2001	6868.2	1602.3	98.9	4.3	69.4	-	-	-	-	-	7.3
2002	6787.8	1615.6	99.9	4.2	67.9	-	-	-	-	-	-1.4
2003	7216.9	1637.4	104.7	4.4	68.9	176718.55	1687.54	10289.38	7216.86	1.43	4.7
2004	7454.3	1705.8	106.0	4.4	70.4	182767.15	1725.01	10459.49	7454.34	1.4	0.8
2005	8145.5	1756.2	107.2	4.6	76.0	190170.12	1774.79	10624.1	8145.54	1.3	3.1
2006	8234.1	1847.5	108.4	4.5	76.0	196845.7	1815.77	10549.15	8234.14	1.28	0.2
2007	8285.9	1956.9	109.8	4.2	75.5	202274.04	1842.42	10217.88	8285.92	1.23	0.1
2008	8426.1	1932.4	111.3	4.4	75.7	207076.94	1860.55	9965.24	8426.1	1.18	-1.3
2009	8400.6	1841.5	112.9	4.6	74.4	204516.31	1812.24	9528.59	8400.63	1.13	0.1
2010	8426.5	1935.7	114.3	4.4	73.7	212231.5	1857.52	9316.53	8426.54	1.11	0.1
2011	8812.5	2013.9	115.7	4.4	76.2	226896.48	1961.37	9292.55	8812.49	1.05	1.1
2012	8809.4	2094.1	117.1	4.2	75.3	233808.09	1997.44	9059.05	8809.36	1.03	0.0
2013	9011.8	2116.6	118.4	4.3	76.1	235158.59	1986.22	9020.21	9011.83	1	2.1

Fuente: Elaboración propia con base en: SEPAFIN, (1982), Balance Nacional de Energía 1981; SENER, (2001), Balance nacional de energía 2000 y SENER (2014) Balance Nacional de Energía 2013.

En la Tabla XIV se muestran las principales empresas en el sector energético. Se observa que la mayoría de las empresas cuentan con capital mexicano. Además, PEMEX opera con utilidades negativas a excepción de PEMEX Gas y petroquímica.

Principales empresas del sector energético en México. 2014.

Posición	Empresa	Ingresos (mdd)	Utilidad Neta	Sector	País
1	PEMEX	126034	-13327	Petroleo y gas	Méx.
2	PEMEX Exploracion y produccion	98022	-3298	Petroleo y gas	Méx.
3	PEMEX Refinacion	64215	-9640	Petroleo y gas	Méx.
4	CFE	24953	5823	Energia Eléctrica	Méx.
5	PEMEX Gas y Petroquimica	17199	306	Petroleo y gas	Méx.
6	ALPEK	7058	71	Petroquimica	Méx.
7	Mexichem	5172	82	Petroquimica	Méx.
8	Grupo Petrotex	4707	47	Quimica y petroquimica	Méx.
9	PEMEX Petriquimica	3163	-1170	Quimica y petroquimica	Méx.
10	La Cangrejera	1434	-151	Petroquimica	Méx.
11	Iberdrola	1352	-	Electricidad	Esp.
12	Grupo Comex	987	-	Petroquimica	Méx.
13	Weatherfor de Mexico	958	-	Petroleo y gas	EUA
14	Huntsman Mexico	852	-	Quimica y petroquimica	Méx.
15	Poliolos	722	7	Quimica y petroquimica	Méx.
16	Petroquimica morelos	686	-72	Petroquimica	Méx.
17	Ienova Mexico	677	142	Petroleo y gas	EUA.
18	Unimor	635	6	Petroquimica	Méx.
19	Sempre Mexico	609	-	Energía Eléctrica	EUA:
20	Fabrica de jabon la corona	419	-	Quimica y petroquimica	Méx.
21	Akra Polyester	416	4.19	Petroquimica	Méx.
22	Noble Corporation	367	-	Petroleo y gas	Sui.
23	Univex	352	3	Petroquimica	Méx.
24	Grupo Pochteca	350	3	Quimica y petroquimica	Méx.
25	Axalta	329	-	Quimica y petroquimica	EUA.
26	Braskem idesa	315	-	Quimica y petroquimica	Bra.
27	Electricidad Aguila de Altamira	261	-	Electricidad	Méx.

Fuente: Elaboración propia, con base en: Mundo Ejecutivo, 1000 Empresas mas importantes de México. 2015.

Capítulo II Termoeconomía.

Energía

Una manera de definir la energía surgió con el descubrimiento de la electricidad, con la invención de la pila eléctrica, la descomposición de sustancias por medio de electricidad o el movimiento de un imán; apareció el término energía como: “algo que puede producir cambios”⁶². A esta capacidad de realizar trabajo que poseen los cuerpos, se le denomina energía.

La energía *per se* no satisface necesidades humanas. Es importante para la economía por que representa la capacidad de realizar trabajo y transformaciones, es intrínseco a los fenómenos económicos y está asociada como insumo para lograr las condiciones materiales que generan bienestar.

Las fuentes de energía son aquellas que producen energía útil directamente o por medio de una transformación, estas se pueden clasificar en dos tipos: primarias y secundarias. Las fuentes primarias se pueden clasificar en renovables y no renovables.

Energía primaria.

La energía primaria comprende aquellos productos energéticos que se extraen o captan directamente de los recursos naturales⁶³. Las principales fuentes de energía primaria son: Carbón mineral, petróleo, condensados, gas natural, nucleoelectrica, hidro energía, geo energía, energía eólica, energía solar, bioenergía (bagazo de caña, leña y biogás). Estas energías pueden ser consumidas inmediatamente o pueden ser transformadas en otras formas de energía (secundaria).

Fuentes renovables:

Las fuentes renovables de energía se definen como la energía disponible a partir de procesos permanentes y naturales con posibilidades técnicas de ser explotadas económicamente. Las principales fuentes renovables son hidroenergía, geoenergía, energía eólica, energía solar y

⁶² Cengel Yunes (2012), Termodinámica, Séptima edición, Mc Graw Hill, México. P 6.

⁶³ González Velasco, (2009), Energías renovables, Editorial reverté, España P 10.

biomasa, estas se aprovechan principalmente en la generación de energía eléctrica, bombeo, iluminación y calentamiento de agua.

Fuentes no renovables:

Las fuentes no renovables de energía son aquellas que se extraen de los depósitos geológicos que se formaron a partir de biomasa y también considera los combustibles secundarios producidos a partir de un combustible fósil.

¿Por qué utilizar exergía en el análisis económico?

Las relaciones entre energía y economía tomaron importancia en la década de los 70's, para este momento, la relación energía – ambiente no recibió mucha atención. Las cuestiones relativas al ambiente como: lluvia acida, contaminación del aire, el deterioro de la capa de ozono, el calentamiento global, el cambio climático tomaron mayor importancia en la década de los 80's, desde entonces, se puso atención en la conexión entre energía y ambiente, tanto en la producción, transformación, transportación y uso lo cual impactaba negativamente al medio ambiente.

Las externalidades negativas están asociadas con las emisiones térmicas, químicas y nucleares todas ellas son consecuencia inevitable de los procesos que satisfacen las necesidades de la sociedad. Las fuentes de energía convencionales como los combustibles fósiles son finitos y están lejos de cumplir con las características necesarias para el desarrollo sustentable.

El concepto de rendimiento, eficiencia o productividad es central en la teoría de la producción⁶⁴. El sistema y su estructura funcional deben adecuarse al objetivo de utilizar de forma eficiente los recursos disponibles (capital, trabajo, materias primas, energía etc.) sujeta a restricciones⁶⁵ surge la pregunta: ¿Cómo debemos medir, caracterizar y evaluar los sistemas energéticos? ¿Existe alguna forma de evaluar su funcionamiento?

⁶⁴ Jehle G. Reny, (2011) Advanced microeconomic theory, Third edition, Ed Prentice Hall, P 146.

⁶⁵ Varian H, (1998) Análisis Microeconómico, Tercera edición, Antoni Bosch editor, P 58

Una respuesta se encuentra en el segundo principio de la termodinámica que afecta a todo proceso biológico, físico, económico o social. No existe ningún proceso natural que se desarrolle sin cumplir dicha ley. La termodinámica es la ciencia que estudia los procesos de conversión de energía. La termoeconomía es un esfuerzo multidisciplinario para la comprensión actual y la planeación futura del consumo de energía y sus repercusiones socio-económicas y ambientales.

La termodinámica estudia los cambios en el estado de un sistema, que se define por los valores de todas sus propiedades macroscópicas importantes, por ejemplo, composición, energía, temperatura, presión y volumen. Se dice que la energía de un sistema, la presión, el volumen, la temperatura, la entalpía (la energía de un flujo), son funciones de estado, es decir, propiedades determinadas por el estado del sistema, sin importar cómo se haya alcanzado esa condición. En otras palabras, cuando cambia el estado de un sistema, la magnitud del cambio de cualquier función de estado depende únicamente del estado inicial y final del sistema y no de cómo se efectuó dicho cambio.⁶⁶

La primera ley de la termodinámica revela que la energía se conserva, pero no ubica el límite del proceso. La eficiencia según la primer ley se define como la relación de salida de energía y entrada de energía⁶⁷

$$\eta_l = \frac{\text{Energía de salida}}{\text{Energía de entrada}}$$

En general la eficiencia según la primera ley puede considerarse como la razón entre la salida deseada y la entrada requerida, no hace referencia al mejor desempeño posible y en consecuencia esta eficiencia por sí sola no es una medida realista de desempeño. Para superar esta deficiencia se define como la relación entre la eficiencia térmica real y la máxima eficiencia térmica posible (reversible) en las mismas condiciones.

La irreversibilidad puede verse como el potencial de trabajo desperdiciado o la oportunidad perdida para realizar trabajo. Representa la energía que podría convertirse en trabajo pero

⁶⁶ Chang, (2010), Química 10ª edición. México p 230.

⁶⁷ Cengel Termodinámica Mc, Graw hill p 471.

que no lo fue. Cuanto más pequeña es la irreversibilidad asociada con un proceso, mayor es el trabajo que se produce (o menor es el trabajo que se consume). El desempeño de un sistema puede mejorarse minimizando la irreversibilidad asociada con él⁶⁸.

Las irreversibilidades siempre generan entropía y cualquier cosa que genera entropía siempre destruye exergía. La exergía destruida es proporcional a la entropía generada y representa el potencial de trabajo perdido debido a las irreversibilidades y también se le denomina trabajo perdido.

La segunda ley de la termodinámica establece que el cambio de entropía total asociado a cualquier proceso físico, químico, económico, social o biológico, debe ser positivo, con un valor límite de cero para ⁶⁹un proceso reversible.⁷⁰ En un balance de entropía en el que se analice un sistema y sus alrededores, la generación de entropía siempre será mayor a cero $\Delta S_{Total} > 0$. Únicamente cuando el proceso es reversible el cambio de entropía es cero ⁷¹ $\Delta S_{Total} = 0$.

El enunciado del balance expresado en términos de rapidez es:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Relacion de cambio} \\ \text{en la entropía} \\ \text{resultante de las} \\ \text{corrientes que} \\ \text{fluyen} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Cambio de la entropía} \\ \text{con relacion al tiempo} \\ \text{En el sistema} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Cambio de la entropía} \\ \text{con relacion al tiempo} \\ \text{En los alrededores} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Relacion de} \\ \text{generación} \\ \text{de entropía} \\ \text{total.} \end{array} \right]$$

La ecuación del balance de entropía equivalente es:

$$[\Delta(Sm)_{Flujos}] + \left[\frac{d(mS)_{sis}}{dt} \right] + \left[\frac{d(mS)_{atr}}{dt} \right] = [S_{Gen}] \geq 0$$

Este enunciado matemático de la segunda ley afirma que cualquier proceso sigue su curso en una dirección tal, que el cambio de entropía total asociado con él es positivo, el valor límite

⁶⁸ Cengel Termodinamica op cit P 433.

⁶⁹

⁷⁰ Smith M, Ness (2007), "Introducción a la termodinámica en ingeniería química" Séptima edición, Mc Graw Hill, México. P 176.

⁷¹ Únicamente la máquina de Carnot es un ejemplo de un Sistema con un proceso reversible.

de cero se alcanza sólo para un proceso reversible. No es posible un proceso para el que la entropía total disminuya.

El trabajo perdido [Wp] o destrucción de exergía [Bd] se define como la diferencia entre el trabajo real de un proceso y el trabajo ideal para el proceso

El incremento de la entropía está ligado al aumento de trabajo perdido o destrucción de exergía.

$$Wp = Bd = Wreal - Wideal.$$

$$Wreal = \Delta \left[\left(H + \frac{v^2}{2} + zg \right) m \right] - Q$$

$$Wideal = \Delta \left[\left(H + \frac{v^2}{2} + zg \right) m \right] - To \Delta(Sm)$$

$$Wperdido = Exergia Destruida = ToSgen \geq 0$$

La eficiencia según la primera ley de la termodinámica (o eficiencia térmica) de una maquina térmica se define como la relación entre la salida de trabajo neta y la entrada de calor total, es decir, es la fracción del calor suministrado que se convierte en trabajo neto. Se puede ver como la relación entre la salida deseada y la entrada requerida. La *masa* y la *energía* son cantidades conservativas (no se pueden crear ni destruir, sólo se transforman), tal como lo define la primera ley de la termodinámica.

La eficiencia de la primera ley no hace referencia al mejor desempeño posible y en consecuencia esta eficiencia no es una medida realista del desempeño. Para superar esta deficiencia se define la eficiencia según la segunda ley, como la relación entre la eficiencia térmica real y la máxima eficiencia térmica posible (reversible) en las mismas condiciones. La *exergía* y la *entropía* son cantidades no conservativas y están relacionadas con la segunda ley de la termodinámica. La entropía se puede crear y la exergía se puede destruir.

La entropía

La energía se define como la capacidad para efectuar un trabajo, sus unidades son el Joule [J]. La entropía [S] es una propiedad termodinámica de los sistemas, se calcula en base a su estado termodinámico, físicamente representa energía/temperatura, se puede calcular y sus unidades son Joule/Kelvin $\left[\frac{J}{K} \right]$, este concepto fue introducido por Clausius en la década de

1860. Se puede interpretar como una medida del orden o el desorden de un sistema. Cuando se trata de entropía lo importante es el cambio en la entropía durante un proceso, no la cantidad absoluta. De acuerdo con Clausius,⁷² el cambio en la entropía S de un sistema, cuando se le agrega una cantidad de calor Q mediante un proceso reversible a temperatura constante está dado por:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Si la temperatura no es constante, la entropía S se define por la relación

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Entonces, el cambio en la entropía de un sistema entre dos estados “1” y “2” está dado por:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

Esto es, $\Delta S = S_2 - S_1$ sólo depende de los estados “1” y “2” del sistema, por lo tanto, la entropía es una variable de estado. Cualquier sistema tiene una temperatura, un volumen, una presión y también un valor particular de entropía.

La exergía

La exergía [B] es el potencial de trabajo útil de un sistema, sus unidades son el Joule [J] es una propiedad termodinámica y se asocia con el estado del sistema y sus alrededores. Un sistema que se encuentra en equilibrio termodinámico⁷³ con sus alrededores tiene exergía cero y se dice que está en el estado muerto. La exergía es “el máximo trabajo teórico obtenido, después de que el sistema interactúe con el ambiente y se encuentre en equilibrio termodinámico con este.”⁷⁴

Para un sistema que se transporta a una velocidad V la energía es igual a su exergía en un proceso ideal en el que no interviene ninguna otra fuerza como la fricción.

⁷² Clausius, (1879), *The Mechanical theory of heat*, Mc Millan, Cambridge, p 106.

⁷³ El equilibrio termodinámico se refiere a que no existen potenciales desbalanceados o fuerzas impulsoras dentro de un sistema. Se tiene que cumplir con el equilibrio térmico, mecánico, de fase y químico.

⁷⁴ Sciubba Enrico, Wall Göran, *A brief commented history of exergy from the beginnings to 2004*. P 3

En el caso de la energía que tiene un sistema que se encuentra en un campo gravitacional, la energía potencial es igual a su exergía en un sistema ideal.

La energía eléctrica y el trabajo mecánico son flujos de exergía, en un proceso ideal se puede convertir todo el trabajo en energía eléctrica y viceversa.

La energía química no se puede transformar totalmente a trabajo mecánico. El máximo trabajo que se puede extraer de un sistema químico compuesto de una sustancia pura depende de la entalpía de formación, de su concentración y del estado de referencia del ambiente.

El trabajo máximo trabajo útil que se obtiene de un flujo de calor es una porción que depende de la temperatura del sistema (T_q) y la temperatura de referencia (T_0)

Tabla XIV. Exergía específica contenida en diferentes flujos de energía		
Tipo de flujo de energía	Energía específica	Exergía específica
Cinética	$0.5V^2$	$0.5V^2$
Potencial	$g\Delta Z$	$g\Delta Z$
Calor	q	$q(1-t_q/t_0)$
Mecánica	w	w
Eléctrica	$It\Delta V$	$It\Delta V$
Química	ΔgG	$\mu - \mu_0 + RT_0 \ln(C/C_0)$
Fuente: Elaboración propia, con base en		

Delta ΔvG

La diferencia entre trabajo reversible⁷⁵ [W_{rev}] y trabajo útil [W_u] se debe a las irreversibilidades⁷⁶ [I] presentes en el proceso, la cual es equivalente a la exergía destruida [B_d], se expresa como:⁷⁷ Uniformar terminos

$$I = B_d = T^0 S_{gen} = W_{rev, sal} - W_u, sal = W_u, ent - W_{rev, ent}$$

Donde S_{gen} es la entropía generada durante el proceso. Para un proceso totalmente reversible la destrucción de exergía es cero.

⁷⁵ El trabajo reversible se define como la cantidad máxima de trabajo útil que puede producirse (o el trabajo mínimo que debe suministrarse) cuando un sistema experimenta un proceso entre los estados inicial y final especificados.

⁷⁶ La irreversibilidad de un proceso perfecto o ideal es cero.

⁷⁷ Annamalai, Puri, (2001), Advanced thermodynamics engineering, CRE Press P. 228.

El cambio en la exergía de una masa fija cuando experimenta un proceso de un estado “1” a un estado “2” está determinado por:⁷⁸

$$\Delta B = B2 - B1 = (U2 - U1) + P^0(V2 - V1) - T^0(\Delta S)$$

Donde U representa la energía interna, P^0, T^0 , la presión y la temperatura del ambiente estable de referencia: 1 atm y $20^\circ C$ respectivamente.

Para un flujo:

$$\Delta B = B2 - B1 = (H2 - H1) - T_o(\Delta S)$$

De manera que: un aumento en la entropía es proporcional a la destrucción de exergía.

$$Bd = T^0 S_{gen}$$

La cantidad de energía siempre se conserva durante un proceso (primera ley), pero la exergía en un proceso está ligada a la disminución de la calidad de la energía (segunda ley). Esta disminución en la calidad está acompañada de un incremento en la entropía y una destrucción en la exergía.

La exergía destruida representa el potencial de trabajo perdido y también se llama trabajo desperdiciado o trabajo perdido. La energía se conserva, pero la exergía no. Una vez desperdiciada la exergía nunca se recupera.

Ejemplo:

Calcule la entropía, entalpía y exergía específicas⁷⁹ de un flujo de agua saturada que se encuentra a una presión de 1.5 MPa.

1.5MPa = 1.5×10^6 Pa; a esta presión la temperatura de saturación del agua es de $198.19^\circ C$

La entalpía específica del agua en estas condiciones es de $h_1 = 844.55 \frac{KJ}{Kg}$

La entropía específica del agua en estas condiciones es de $s_1 = 2.3143 \frac{Kj}{Kg K}$

El ambiente estable de referencia es: una presión de 1atm y una temperatura de $20^\circ C = 293K$

⁷⁸ Cengel, (2012), Termodinámica, 7ª Edición, Mc Graw Hill, México, P, 451.

⁷⁹ Las propiedades extensivas por unidad de masa se llaman propiedades específicas; indica (en este caso por cada Kg de agua).

La entalpía específica del agua en estas condiciones es de $h^\circ = 83.95 \frac{KJ}{Kg}$

La entropía específica del agua en estas condiciones es de $s^\circ = 0.2965 \frac{KJ}{KgK}$

De manera que la energía de ese flujo [h] (entalpía) por unidad de masa es:

$$h = [h_1 - h^\circ] = \left[844.55 \frac{KJ}{Kg} - 83.95 \frac{KJ}{Kg} \right] = 761.1 \frac{KJ}{Kg}$$

De esta forma, la diferencia de la entropía entre el estado 1 y el ambiente estable de referencia (medio ambiente) es de:

$$\Delta s = [s_1 - s^\circ] = \left[2.3142 \frac{KJ}{KgK} - 0.2965 \frac{KJ}{KgK} \right] = 2.0178 \frac{KJ}{KgK}$$

La exergía específica [b] se calcula:

$$\begin{aligned} b &= [h_1 - h^\circ] - T^\circ [s_1 - s^\circ] \\ &= (844.55 - 83.95) \frac{KJ}{Kg} - \left[293.15K (2.3143 - 0.2965) \frac{KJ}{KgK} \right] \\ &= 169.38 \frac{KJ}{Kg} \end{aligned}$$

La **exergía destruida o el trabajo perdido** debido a las **irreversibilidades físicas** es:

$$Bd = T^\circ S_{gen} = \left[293.15K (2.3143 - 0.2965) \frac{KJ}{KgK} \right] = 669.745 \frac{KJ}{Kg}$$

La energía de este flujo (entalpía)⁸⁰ es de 761.1KJ por cada kilogramo de agua, pero de toda esa energía únicamente se puede convertir en trabajo útil (exergía) 169.38 KJ por cada kilogramo de agua. Estas son las limitantes físicas para convertir esa energía en trabajo útil.

Ahora bien, esos 169.38 KJ de energía que potencialmente pueden utilizarse (exergía), si se aprovechan con una eficiencia del 100 % (ideal) se transformara en trabajo útil y la generación de entropía será nula: $\Delta s = 0$. Si se desperdicia esa exergía, entonces el proceso

⁸⁰ Nota la entalpía puede ser considerada como calor en un proceso a presión constante

genera entropía: $\Delta s > 0$. Para que se aproveche de una mejor manera esa energía, es necesario llevar las **irreversibilidades técnicas-económicas** al nivel mínimo $I \rightarrow 0$, (estas dependen de cómo se está operando el equipo o el proceso). Para minimizar las irreversibilidades (maximizar la eficiencia) es necesario optimizar los procesos de producción, transformación, distribución y administrativo, dadas las restricciones económicas.

En la vida diaria (exergía laboral).

Los conceptos de la segunda ley de la termodinámica se utilizan en la vida diaria, existe un creciente reconocimiento que la cantidad y la calidad juegan un papel fundamental en el proceso económico. Que una persona consiga hacer más trabajo en menos tiempo no es diferente a que un automóvil recorra más kilómetros con menos combustible.⁸¹

La eficiencia según la primera ley o el desempeño de una persona puede considerarse como el logro de esa persona en relación con el esfuerzo que le dedica, por otro lado, la eficiencia o el desempeño de una persona según la segunda ley está en relación con su mejor desempeño posible según las circunstancias.

La exergía de una persona puede verse como el mejor trabajo que la persona puede realizar bajo las condiciones más favorables. El trabajo reversible en la vida diaria puede verse como el mejor trabajo que una persona puede hacer bajo condiciones específicas. La diferencia entre el trabajo reversible y el trabajo real llevado a cabo bajo esas condiciones puede verse como irreversibilidad (generación de entropía) o exergía destruida. En sistemas técnicos se identifican las fuentes con mayores irreversibilidades y se tratan de minimizar para maximizar el desempeño.

La exergía de una persona en un momento y un lugar dados pueden ser vistos como la cantidad máxima de trabajo que puede hacer en ese espacio-tiempo. La exergía de una persona es difícil de cuantificar debido a la interdependencia de las capacidades físicas e

⁸¹ Cengel Yunes, (2012), Termodinámica, Séptima edición, Mc Graw Hill, México.

intelectuales (obviamente) la educación la capacitación y la salud⁸² aumentan la exergía de una persona y el envejecimiento y las enfermedades disminuyen la exergía. La exergía de los seres humanos es función (entre otras cosas) del tiempo, el potencial de trabajo de una persona se desperdiciará si no se utiliza en el momento adecuado. Un barril de petróleo no pierde nada de su exergía si se almacena durante 40 años, pero una persona perderá gran parte de su exergía si permanece inmóvil (desempleado) durante ese tiempo.

Es posible comparar la destreza de una persona con su exergía. Cuando una persona, descansa bien, el grado de agudeza y destreza (exergía física) es máxima y esta exergía disminuye con el paso del tiempo (cuando se cansa). Las tareas cotidianas y laborales requieren distintos niveles de exergía física e intelectual. En cualquier labor existe una diferencia entre la agudeza disponible y la requerida, que puede ser considerada como la agudeza o capacidades desperdiciadas o exergía destruida.

Incluso una persona discapacitada tendrá que dedicar un esfuerzo considerable para lograr lo que una persona “normal” consigue, aun cuando logre menos con un mayor esfuerzo, pero seguramente con un desempeño impresionante lograra más elogios. Podemos afirmar que la persona discapacitada tuvo una baja eficiencia según la primera ley (logro poco con un gran esfuerzo), pero una muy alta eficiencia según la segunda ley (logró tanto como es posible de acuerdo con las circunstancias).

En la vida diaria la exergía puede considerarse también como las oportunidades que tenemos, mientras que la destrucción de exergía como las oportunidades desperdiciadas. El tiempo es el máximo activo y el tiempo desperdiciado es la oportunidad desperdiciada para hacer algo útil.

Implicaciones para el desarrollo sustentable.

⁸² Estos términos han sido considerados por Shultz (1968), Becker (1962) como: Capital humano. Posteriormente Mankiw, Romer y Weil (1992), incorporaron la acumulación de capital humano en la versión simple del modelo de crecimiento de Solow.

Actualmente existen mecanismos económicos que tratan de internalizar un daño ambiental por contaminación, generalmente el gobierno actúa mediante una política ambiental.

La gestión pública de las políticas ambientales se realiza mediante programas, ordenamiento ecológico del territorio, unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre, manejo de áreas protegidas, estudios de riesgo, evaluación de impacto ambiental, instrumentos económicos, reglamentos, normas oficiales mexicanas, con el apoyo de sistemas de investigación, información y un registro integrado,⁸³ en suma, la política ambiental intenta lograr que los mercados funcionen (para que los bienes y servicios ambientales entren a la estructura de costos), generalmente por medio de dos mecanismos:

- a) Creando mercados cuando no los hay.
- b) Modificando mercados mediante normas, regulaciones e incentivos.

En términos conceptuales, hace mucho que la política ambiental dejó de considerarse antagónica respecto de las necesidades de la política económica. Al contrario, el desarrollo de una política ambiental eficaz es condición indispensable para garantizar la eficiencia de los procesos productivos y su viabilidad de mediano y largo plazo.⁸⁴ Impulsar una política ambiental implica la canalización de recursos, así como restricciones reales para ciertas actividades insustentables de producción, intercambio y consumo, en este sentido la esfera económica tiene capacidad de decisión e influencia sobre la esfera ambiental.

Es imposible lograr el crecimiento económico sin el uso de los recursos naturales y de la degradación del medio ambiente, ya que son fenómenos inherentes a los procesos económico y a la vida misma.

⁸³ Gil, M, (2007), Crónica Ambiental, Gestión pública de políticas ambientales en México. FCE, SEMARNAT, INE, México, P. 87.

⁸⁴ *Ibíd.* P 332.

Una contribución de la termodinámica consiste en el diseño, diagnóstico, y planificación de los recursos energéticos donde se cuantifica el consumo de recursos utilizados para fabricar productos funcionales.

Capítulo III Análisis exergoeconomico en el sistema energético mexicano.

¿Qué es el análisis de costo exergético?

Es una herramienta de análisis que arroja información fina sobre optimización, generalmente se emplea en procesos industriales. Al obtener los flujos de exergía de una planta industrial, un proceso o un ciclo de potencia es posible realizar el balance de exergía y la determinación de los parámetros de la variable de exergía, con esta información se calculan los costos asociados al proceso. A esto se le conoce como análisis exergético.

El análisis exergético muestra cómo el valor termodinámico de los flujos (exergía) discurre y se disipa dentro de cada equipo.⁸⁵

Particularmente en este trabajo se realiza un análisis exergético del sistema energético nacional con el objetivo de identificar y cuantificar las destrucciones de exergía

Lo anterior potencialmente ayuda en tres sentidos

- Maximización de la energía, minimización del combustible
- Optimización de procesos (administrativos)
- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

⁸⁵ Guallar J y Valero A, Estudio termoeconómico de una planta simple de cogeneración. E.T.S. de ingenieros industriales, Universidad de Zaragoza., p 3.

El costo exergético (B^*) es “la cantidad de exergía necesaria para la obtención de un producto”⁸⁶. El costo exergético incluye la exergía del producto más la exergía necesaria para la obtención de ese producto. B^* siempre será mayor que el contenido exergético de dicho producto.

Cálculo de la energía [E].

Para este trabajo se toma como fuente de información el balance nacional de energía (BNE) de México que publica la secretaría de energía (SENER).

El BNE se elabora con los flujos de los combustibles tanto de la oferta como de demanda. Se mide en estado físico en (toneladas, barriles, litros etc.) Para tener una unidad homogénea que sea comparable se transforma por medio del poder calorífico (PC) a unidades de energía: Joule [J].

Cálculo de exergía [B]

Todos los procesos tienen lugar en el espacio donde se distinguen dos partes 1.- El ambiente estable de referencia (AER) que proporciona o recibe las especies físicas, químicas, biológicas reservorio y sumidero 2.- Los recursos naturales los cuales no se encuentran en equilibrio termodinámico con el ambiente estable de referencia. Que son elementos valiosos (combustibles, minerales etc.)

Para el cálculo de las exergías se considera al ambiente estable de referencia como la unión de los siguientes 3 depósitos:

- Un depósito de energía calorífica, o foco de calor, a la temperatura ambiente T_0
- Un depósito de trabajo mecánico por cambiar de volumen a la presión atmosférica P_0
- Un depósito de materia, que contiene las especies químicas a los potenciales químicos μ_0 .
- Se consideran los efectos de los procesos y equipos disipativos.

⁸⁶ Lozano, M, Serra, L, y Valero A, Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. Centro politécnico superior de ingenieros. Universidad de Zaragoza.

La exergía de un flujo vendrá dada por el trabajo útil o técnico mínimo necesario para obtenerlo, utilizando únicamente los recursos que proporciona “de manera gratuita” el Ambiente Estable de Referencia (AER).

La exergía total es igual a la exergía química más la exergía física.

$$b = b_f + b_0$$

$$b_f = h - h_0 - T_0(s - s_0)$$

$$b_0 = h_0 - T_0S_0 - (h_{00} - T_0S_{00}) = g_0 - g_{00}$$

$$b_0 = \mu_0 - \mu_{00}$$

Para el caso de la energía eléctrica se considera como exergía pura.

Construcción de la matriz de incidencia.

La matriz de incidencia [A] se compone por filas (procesos) y columnas (flujos). Los elementos a_{ij} toman el valor de [+1, -1 ó 0]. Toman el valor +1 si el flujo j entra en el proceso. Toman el valor de -1 si sale del proceso. Toman el valor 0 cuando ese flujo no atraviesa por ese proceso.

Para este análisis consideramos 14 procesos y 48 flujos (ver anexo de flujos, procesos y diagrama).

A pesar de que consideramos 14 procesos, la matriz de incidencia que presentamos tiene 15. Consideramos que los flujos interactúan con el entorno (el medio ambiente, el sistema económico o la sociedad).

Balance de energía.

El primer principio de la termodinámica establece que “la energía no se puede crear ni destruir durante un proceso, sólo puede cambiar de forma”⁸⁷ Es decir, la energía es conservativa. El modelo que representa el balance de energía:

⁸⁷ Cengel Yunes, Termodinámica, Séptima edición, Mc Graw Hill, México. 2012 P 70.

$$\sum_{\text{Entradas}}^n Ee - \sum_{\text{Salidas}}^k Es = 0$$

De esta forma, la matriz de incidencia [A] multiplicada por el vector de energía [E] es el vector nulo. (por que la energía es conservativa) Toda la energía que entró al sistema salió del sistema.

$$[A] X [E] = \delta$$

Para resolver el sistema de ecuaciones necesitamos que el sistema sea consistente y se podrá dar solución con:

$$[A]^{-1} X \delta = [E]$$

Balance de exergía.

La naturaleza de la exergía es opuesta a la de la entropía. En todo proceso real, debido a las irreversibilidades aparece exergía destruida⁸⁸, pero no puede crearse. Por consiguiente, el cambio de exergía de un sistema durante un proceso es menor que la transferencia de exergía por una cantidad igual a la exergía destruida dentro de las fronteras del sistema durante el proceso. Entonces el proceso de disminución de exergía puede expresarse como:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Exergía total} \\ \text{que entra} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Exergía total} \\ \text{que sale} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Exergía total} \\ \text{destruida} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Cambio en la} \\ \text{exergía total} \\ \text{del sistema} \end{array} \right]$$

Para cuantificar la exergía destruida en un proceso la representación queda:

$$\sum_{\text{Entradas}}^n Be - \sum_{\text{Salidas}}^k Bs = Bd$$

Al efectuar la multiplicación de la matriz de incidencia [A] por el vector de exergía [B], se obtiene el vector diagnóstico [Bd] el cual expresa la exergía destruida en cada proceso.

$$[A] X [B] = Bd$$

Costo exergético (B*).

⁸⁸ Tsatsaronis, F Cziesla, Exergy balance and exergetic efficiency. En: Exergy system analysis and optimization Vol. I

En todo proceso real se destruye exergía, que representa la exergía necesaria para obtener el producto. El costo exergético siempre será mayor que el contenido exergético de dicho producto. (B^*) es la cantidad de exergía necesaria para la obtención del producto.

Costo exergético unitario

La relación $k = \frac{B^*}{B}$ se define como el costo exergético unitario, muestra la exergía necesaria para la obtención de una unidad de exergía de producto. $k \geq 1$ El criterio de optimización es tratar de minimizar k .

Para encontrar el punto óptimo se ocupa la técnica de los multiplicadores de Lagrange

La relación de eficiencia.

La relación $n = \frac{B}{B^*}$ es una relación de eficiencia termodinámica, donde $n < 1$ El criterio de optimización es maximizar n .

Para encontrar el punto óptimo se ocupa la técnica de los multiplicadores de Lagrange

Cálculo del costo exergético.

La matriz de incidencia $[A]$ contiene información de la interconexión entre los flujos, por lo tanto, es la estructura física del sistema. La matriz $[\alpha]$ es obtenida a partir de la estructura de producción y se define como la estructura productiva del sistema.

La estructura de costos o matriz de incidencia aumentada $[A\alpha]$ es la unión de las dos estructuras anteriores.

$$[A\alpha] = \begin{bmatrix} A \\ \alpha \end{bmatrix}$$

El vector solución $[S]$ se construye con el vector nulo $[\delta]$ y el vector $[w]$ donde $[w]$ representa que el balance de coste exergético es preservativo.

$$[S] = \begin{bmatrix} \delta \\ w \end{bmatrix}$$

El sistema se hace consistente al incluir las ecuaciones complementarias a partir de la estructura de producción. Se emplean las siguientes reglas lógicas de asignación de costos exergéticos:

- El costo exergético de un flujo que entra al sistema es igual a la exergía que lleva.

$$B_i^* = B_i$$

- El costo exergético de las pérdidas es cero. El costo se le carga al producto.

$$B_{Pérdidas}^* = 0$$

- En las ramificaciones el costo exergético unitario es el mismo.

$$B_i^* = B_j^*$$

Finalmente se obtiene el vector de costo exergético B^*

$$B^* = [A \ \alpha]^{-1} X \begin{bmatrix} \delta \\ w \end{bmatrix}$$

Capítulo IV. Evaluación económica de los flujos de exergía del sistema energético mexicano.

Interpretación de la matriz de incidencia [A]

El mercado energético.

La matriz de incidencia [A] representa los flujos de energía y describe la estructura física del sistema. El balance nacional de energía se construye en base a los de flujos de energía, los cuales corresponden a la oferta y demanda de energía. En este sentido [A] es una buena aproximación del mercado energético.

Si se realiza el análisis comparativo para distintos periodos de tiempo, se monitorea la estructura del mercado energético y exergético nacional. Potencialmente se realizan estimaciones al comportamiento del mercado.

Colocar al sector energético como un “núcleo” permite encontrar las interacciones con el entorno (medio ambiente, el sistema productivo y la sociedad, ver matriz de incidencia)

Localiza y cuantifica las exportaciones e importaciones de energía y exergía.

Arroja luz sobre la estructura económica nacional; es decir cuantifica la energía que consume el sector industrial, servicios, agricultura, transportes, etc.

Cuantifica la cantidad de exergía suministrada a cada sector, y su costo exergético.

Análisis de resultados.

La eficiencia exergética total del sistema energético nacional (incluyendo el comercio internacional de energía) es de 39.0%.

La eficiencia exergética sin considerar el comercio internacional es de 21.1 %.

Es recomendable realizar el cálculo de este indicador para años anteriores para monitorear la eficiencia a lo largo del tiempo.

Interpretación de la matriz de incidencia [A]

La matriz de incidencia [A] representa los flujos de energía y describe la estructura física del sistema. El balance nacional de energía se construye en base a los flujos de energía, los cuales corresponden a la oferta y demanda de energía. En este sentido [A] es una buena aproximación del mercado energético.

Si se realiza el análisis comparativo para distintos periodos de tiempo, se monitorea la estructura del mercado energético y exergético nacional. Potencialmente se realizan estimaciones al comportamiento del mercado.

Colocar al sector energético como un “núcleo” permite encontrar las interacciones con el entorno: medio ambiente, el sistema productivo y la sociedad.

Economía:

Aproximación al mercado energético nacional

Localiza y cuantifica las exportaciones e importaciones de energía y exergía.

Arroja luz sobre la estructura económica nacional; es decir cuantifica la energía que consume el sector industrial, servicios, agricultura, transportes, etc. Cuantifica la cantidad de exergía suministrada a cada sector, y su costo exergético. Permite identificar y tener parámetros comparables a lo largo del tiempo en la eficiencia en los procesos, desde la producción, transformación de energía, hasta en el consumidor final.

Por ejemplo: El consumo final energético revela la estructura económica del país. El 45.7 % de la energía que se consume se emplea en los transportes. Del total de energía en el sector transporte el 91.75 % es consumido por autotransportes. Es decir, las personas o mercancías se mueven por medio de autotransportes que utilizan como fuente de energía algún combustible fósil, por lo tanto, la exergía de esos ciclos estará dada por $qb = q \left[1 - \left(\frac{qt}{q0} \right) \right]$ por lo tanto, este proceso estará limitado por condiciones físicas, tecnológicas y económicas. Este es el proceso que mas exergía destruye.

El sector industrial consume sólo el 32.59 % de la exergía nacional. El sector residencial consume el 18.40 % y el agropecuario sólo el 3.23 %, lo cual refleja en parte la estructura económica del país.

Ambiente.

Localizar las entradas de energía, el medio ambiente es quien suministra los recursos.

Identificar los procesos y estimar cuantitativamente los subproductos (desechos energéticos y CO₂).

Sociedad, permite conocer la cantidad de exergía que consume la sociedad mexicana.

Destrucción de exergía.

Derivado del análisis exergético, se obtiene que los principales destructores de exergía son los centros de transformación de energía primaria y secundaria que destruyen 1622 PJ de exergía anuales (23% del total), generalmente son ciclos de potencia que utilizan como fuente de energía algún combustible fósil. El siguiente destructor de exergía es el consumo en transportes 1604 pJ que representa el 23 % del total. Las ramas industriales destruyen 1026 PJ de exergía (15 % del total) El total de exergía destruida es de 6991 PJ lo cual corresponde a la energía que se disipa en el ambiente y que contribuye a el “efecto invernadero” ver tabla VI.

Procesos		Destrucción de exergía [PJ]	%
1	Importación de energía primaria	0	0%
2	Exportación de energía primaria	60	1%
3	Producción de energía primaria	711	10%
4	Transformación de energía primaria a energía secundaria	1622	23%
5	Importación de energía secundaria	80	1%
6	Exportación de energía secundaria	4	0%
7	Segundo centro de transformación.	871	12%
8	Distribución de energía primaria y secundaria al consumidor final	235	3%
9	Separador, consumo no energético (petroquímica) y consumo energético.	0	0%
10	Separador, Consumo por sector, Agrícola, industrial, transportes, residencial.	91	1%
11	Separador de consumo no energético (petroquímica de PEMEX) y otras ramas	0	0%
12	Consumo en transportes	1604	23%
13	Consumo residencial, comercial y del sector público.	687	10%
14	Consumo en diversas ramas industriales.	1026	15%
15	Energía de desecho disipada al medio ambiente.	6991	100%

Los motores de combustión interna y los ciclos de potencia que utilizan como fuente de energía algún combustible fósil, por lo tanto, la exergía de esos ciclos estará dada por $b = q \left[1 - \left(\frac{q_t}{q_0} \right) \right]$ por lo tanto, este proceso estará limitado por condiciones físicas, tecnológicas y económicas. Este es el proceso que más exergía destruye.

Esta metodología ayuda a identificar y cuantificar las “fugas”, es decir sabemos cuáles son los procesos que destruyen mas exergía, (aprovechan menos la energía) y por lo tanto que tienen un desperdicio de recursos energéticos y económicos.

Para poder analizar a detalle cada uno de los proceso que destruyen exergía, se puede realizar esta metodología, solamente se necesita delimitar las “fronteras” del nuevo sistema, por ejemplo se puede seleccionar las plantas de generación eléctrica (toda la rama industrial), o se puede seleccionar una planta de potencia, hasta llegar a cualquier turbina o generador o incluso los componentes del generador⁸⁹.

Costo exergético.

Al determinar el vector de costo exergético [B^*] nos damos cuenta que el costo exergético de cada flujo siempre es mayor que la exergía que contiene ese flujo. $B^* > B$.

A medida en que se transforma la energía en formas económicas y socialmente más productivas se incrementan los costos exergéticos.

El costo exergético unitario k de la producción de energía primaria es 1. Es decir, el costo exergético de las fuentes primarias de energía es equivalente a la exergía que contienen.

A medida en que se transforman las energías primarias en otras aumentan los costos exergéticos. En otras palabras, el ser humano y el sistema económico no produce energía, sólo la transforma.

Los mayores costos exergéticos (k), exergía necesaria para obtener el producto final, se obtienen en el consumo final, en los sectores transporte e industrias $k=6.83$. Lo cual indica

⁸⁹ Para la definición de las nuevas fronteras, la división política del territorio ilustra: Los límites mundiales, las fronteras entre continentes, nacional, estatal, municipal, regional, colonia, calle, casa, habitación.

que por cada 1 PJ que se aprovecha el país gasta consume 6.83PJ, de lo que se pierden 5.83 PJ en todo el proceso. (En la hoja resumen se encuentran los costos de todos los flujos).

Costo Exergoeconomico.

Las consecuencias de la segunda ley de la termodinámica en la economía. Esta es una forma para medir el costo de producción. La teoría del costo exergético se basa en conceptos económicos tales como los recursos, la estructura y la eficiencia. Estos costos se estiman.

Se encontró que el costo exergoeconomico de producción de energía primaria es 7658.3 pesos / seg. El costo exergoeconomico de la entrada de la energía primaria del centro de transformación es 5520.3 pesos / seg. El costo exergoeconomico de flujo 14 "producción de energía secundaria" es 14190 pesos / seg. El costo exergoeconomico de flujo 17 "importación de secundaria" la energía es 14446 pesos / seg. El costo exergoeconomico de flujo 19 "fuente secundaria" es 27785 pesos / seg.

Ver tabla VII.

Al comparar los costos exergoeconomicos de las diferentes formas de transporte resalta el alto costo de los autotransportes con 10374 \$/seg. en comparación con el transporte eléctrico de 60.03 \$/ seg. Como se muestra en la tabla VII.

También se observa una fuerte diferencia entre el consumo final residencial de 3724 \$ / seg en comparación con el sector publico 177 \$/seg y las industrias del acero 1259 \$/Seg y la industria química 423 \$/ Seg.

El costo exergoeconomico aumenta cuando la energía de baja calidad se transforma en energía de alta calidad (socialmente útil). Observamos que la formación coste exergético es proporcional al proceso de degradación de la energía de los recursos.

Tabla VII. SÍNTESIS. Energía, Exergía, Costos Exergéticos, Eficiencia Energética, Eficiencia Exergética, Costos Exergoeconomicos.

FLUJO		E [PJ]	B [PJ]	0w	B*	B*/E	B*/B	B/B*	ZW	π [\$/año]	π [\$/s]	
1	Producción de energía primaria y otras fuentes	9793	9181	0	9181	0.938	1	1	-1.8E+09	2.4E+11	7658.3	1
2	Oferta total primaria	9996	9387	0	9387	0.939	1	1	-2.3E+10	2.5E+11	7974.2	2
3	Importación de energía primaria	217	206.1	0	206.1	0.95	1	1	-287663	8.1E+09	258.22	3
4	Variación en los inventarios primarios	13.24	0	0	0	0	-	-	-3E+10	0	0	4
5	Oferta interna bruta de energía	7195	6718	0	6761	0.94	1.006	0.994	-1.8E+10	2E+11	6270.3	5
6	Exportación de energía primaria	2746	2609	0	2626	0.956	1.006	0.994	-3.4E+09	7.7E+10	2434.9	6
7	Energía primaria no aprovechada	54.83	0	0	0	0	-	-	-1E+10	0	0	7
8	Insumos de energía primaria en centros de trans	5666	5288	0	5953	1.051	1.126	0.888	-4.3E+10	1.7E+11	5520.3	8
9	Pérdidas por transformación primarias.	31.9	0	0	0	0	-	-	-4.1E+10	0	0	9
10	Recirculaciones y diferencia estadística	454.7	0	0	0	0	-	-	-4.1E+10	0	0	10
11	Consumo propio primario	302	0	0	0	0	-	-	-1.7E+09	0	0	11
12	Transferencia interproductos	288.7	288.7	0	325	1.126	1.126	0.888	-4.8E+09	9.5E+09	301.39	12
13	Consumo final primario	452	429.7	0	483.7	1.07	1.126	0.888	-1.5E+09	1.4E+10	448.6	13
14	Produccion bruta de energía secundaria	5660	5414	0	8856	1.565	1.636	0.611	-4.4E+09	4.5E+11	14190	14
15	Pérdidas por transformación secundarias	1847	0	206.1	0	0	-	-	8.1E+09	0	0	15
16	Oferta total secundaria	7884	7403	9181	10925	1.386	1.476	0.678	2.4E+11	9.2E+11	29215	
17	Importación de energía secundaria	2236	2069	2069	2069	0.925	1	1	4.6E+11	4.6E+11	14446	
18	Variación en los inventarios secundarios	11.85	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
19	Oferta bruta secundaria	7476	7011	0	10351	1.385	1.477	0.677	0	8.8E+11	27785	
20	Exportación de energía secundaria	407.8	388.4	0	573.5	1.407	1.477	0.677	0	4.9E+10	1539.5	
21	Consumo final secundario	4680	4680	0	7773	1.661	1.661	0.602	0	6.5E+11	20679	
22	Combustibles a generación eléctrica	1840	1748	0	2904	1.578	1.661	0.602	0	2.4E+11	7724.6	
23	Consumo propio secundario	727.3	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
24	Pérdidas secundarias	153.1	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
25	Recirculaciones y diferencia estadística	363.5	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
26	Consumo final total	5132	4875	0	8256	1.609	1.694	0.59	0	7.1E+11	22493	
27	Consumo final no energético	190.9	190.9	0	323.4	1.694	1.694	0.59	0	2.9E+10	932.3	
28	Consumo final energético	4941	4684	0	7933	1.605	1.694	0.59	0	7.2E+11	22873	
29	Consumo de energía en el sector transporte	2262	2147	0	3708	1.639	1.727	0.579	0	3.6E+11	11292	
30	Consumo en sec. residencial, comercial, público.	909.2	859.2	0	1484	1.632	1.727	0.579	0	1.4E+11	4519.7	
31	Consumo de energía en el sector industrial	1612	1526	0	2636	1.635	1.727	0.579	0	2.5E+11	8029.2	
32	Consumo de energía en el sector agorpecuario	157.6	60.51	0	104.5	0.663	1.727	0.579	0	1E+10	318.3	
33	Consumo no energético, (petroquímica PEMEX)	136.5	136.5	0	231.2	1.694	1.694	0.59	0	2.2E+10	704.99	
34	Consumo no energético, (otras ramas)	54.38	54.38	0	92.11	1.694	1.694	0.59	0	8.9E+09	280.8	
35	Consumo de energía en autotransportes	2076	492.3	0	3361	1.619	6.828	0.146	0	3.3E+11	10374	
36	Consumo de energía en transporte aéreo	127.2	36.25	0	247.5	1.946	6.828	0.146	0	2.4E+10	763.9	
37	Consumo de energía en transporte marítimo	28.75	4.097	0	27.97	0.973	6.828	0.146	0	2.7E+09	86.336	
38	Consumo de energía en transporte ferroviario	26.61	7.586	0	51.8	1.947	6.828	0.146	0	5E+09	159.87	
39	Consumo de energía en transporte eléctrico	4.07	2.849	0	19.45	4.779	6.828	0.146	0	1.9E+09	60.039	
40	Consumo de energía en el sector residencial	742.7	140.2	0	1210	1.629	8.633	0.116	0	1.2E+11	3724.5	
41	Consumo de energía en el sector comercial	133.1	25.05	0	216.3	1.625	8.633	0.116	0	2.1E+10	665.64	
42	Consumo de energía en el sector público	33.43	6.686	0	57.72	1.727	8.633	0.116	0	5.6E+09	177.66	
43	Consumo en la industria de hierro y acero	208.1	77.19	0	406.4	1.953	5.264	0.19	0	4E+10	1259.1	
44	Consumo en la fabricación de cemento	136.2	52.4	0	275.9	2.025	5.264	0.19	0	2.7E+10	854.76	
45	Consumo en PEMEX petroquímica.	116.4	42.13	0	221.8	1.905	5.264	0.19	0	2.2E+10	687.28	
46	Consumo en la industria química	93.72	25.96	0	136.7	1.458	5.264	0.19	0	1.3E+10	423.46	
47	Consumo en la elaboración de azúcares	65.42	18.71	0	98.48	1.505	5.264	0.19	0	9.6E+09	305.14	
48	Consumo en otras ramas industriales	992.4	284.4	0	1497	1.509	5.264	0.19	0	1.5E+11	4639.8	

Modelo de optimización

La optimización de sistemas energéticos requiere encontrar valores que maximicen la eficiencia del proceso y que minimicen el costo de los factores de producción y la degradación ambiental. Es decir, mejorar su eficiencia y ahorro económico.

De acuerdo con el modelo energético anteriormente planteado, podemos suponer una demanda de energía final fija y la función a optimizar será el costo total por unidad de tiempo. Dado que es un problema de optimización sujeto a restricciones podemos emplear el método de los multiplicadores de Lagrange

La resolución del sistema de ecuaciones permitirá estimar las variables óptimas para el diseño del sistema energético nacional, puede optimizarse a escala local considerando como costo marginal el costo exergoeconomico unitario.

Permite identificar y tener parámetros comparables a lo largo del tiempo en la eficiencia en los procesos, desde la producción, transformación de energía, hasta en el consumidor final.

Los mercados fallan.

Los mercados sirven para comunicar las leyes de la naturaleza y las leyes sociales, los mercados fallan si no logran comunicar los deseos y restricciones de la sociedad de manera correcta, cuando no asignan los recursos escasos para generar un mayor bienestar social.⁹⁰

Los precios de mercado pueden subestimar los servicios ambientales, incluso puede ser que los mercados no envíen la señal (vía precios) del valor del capital natural.⁹¹ Normalmente, cuando se consume algún producto, se desconoce o no se acepta el daño ambiental que cualquier proceso de producción, transformación, distribución, consumo involucra la generación de residuos y energía inútil que retornan al medio ambiente. Es por ello que la economía hace un esfuerzo para realizar las siguientes acciones:

⁹⁰ Hanley, Shogren, White, (2007), Environmental economics in theory and practice, Mc Millan, EUA. P 41.

⁹¹ Las externalidades significan que: efectos positivos o negativos que afecten a terceros. en una economía de mercado, una externalidad ambiental ocurre cuando se desconoce o no se acepta (por el mercado) el daño o el beneficio de los servicios ambientales.

- a) Evaluación de la importancia económica del deterioro ambiental.
- b) Indagación de las causas económicas del deterioro ambiental.
- c) Diseño de incentivos económicos para detener, reducir y revertir la degradación ambiental.

Algunas fallas de mercado ocurren cuando una persona, en una transacción, no tiene información completa de las acciones de la otra persona o de las características de un bien. Sin información completa los mercados fallan al asignar recursos de manera eficiente. Es importante que las organizaciones, gobiernos y el consumidor en general conozcan que los indicadores de eficiencia energética dependen de la manera en que el sistema es operado y la gestión de la tecnología, que a groso modo comprenden los siguientes aspectos:

- 1.-Operación del sistema. Está vinculado a la planeación, políticas de infraestructura, políticas educativas orientadas a impulsar la creación de conocimiento, el desarrollo tecnológico, la innovación y educación ambiental.
- 2.-Tecnología. Se relaciona con la parte de vehículos y combustible, en particular la creación de tecnología, capacitación y planeación en la operación y mantenimiento.

¿Cuáles son los mecanismos de regulación que pueden diseñarse para asegurar un buen balance entre los costos y los beneficios de contaminar? ¿Impuestos ambientales al consumo, impuestos ambientales a la producción?

Actualmente, los impuestos convencionales gravan a los factores de la producción: (trabajo, capital, recursos naturales, capital financiero) existe una carga impositiva a los salarios, ganancias, la extracción de recursos o a los intereses. Por otro lado existen los impuestos al consumo como es el IVA, por otro lado, la lógica de los permisos, e impuestos comerciales reducen la producción y el empleo.

¿Cuáles son los incentivos que ocasionan el uso de gasolina y a su vez la contaminación del aire? La elasticidad precio de la demanda de gasolinas es superior a la unidad, lo que significa que: aunque los precios de las gasolinas se eleven se seguirá consumiendo gasolina. Esto se

debe a la estructura de transporte de la economía mexicana. Al no existir sustitutos al transporte se observa una demanda inelástica.

Un impuesto “ambiental” a la producción o a la demanda de gasolinas solamente dará resultados en aumentar la recaudación fiscal pero no tendrá incidencia a migrar a otras formas de consumo por que no las hay, si se comporta como un impuesto convencional y únicamente ayuda a la recaudación fiscal, generará presiones inflacionarias (elasticidad precio de las gasolinas). Estos mecanismos (por si solos) no son eficientes para lograr incidir a la baja el consumo de gasolinas.

¿Qué hacer ante dicha situación?

Bajo este esquema es mejor crear un sobrepeso al consumo de gasolinas con la finalidad de recaudar y motivar acciones que promuevan un cambio tecnológico y de patrones de consumo entre ellas: implementar campañas en medios (manejo inteligente), capacitar al personal de transporte (privado o público), asistencia técnica sobre ahorro de combustible, promoción de tecnologías y combustibles alternos en empresas de transporte, diagnóstico de empresas y gestión de combustible, manejo de unidades, logística, selección vehicular, promover normas y regulaciones en eficiencia energética, crear y fomentar alternativas al autotransporte tanto en ciudades como foráneo y mejorar y fomentar el transporte público.

Repensar los instrumentos ambientales.

Un impuesto ecológico eficaz es aquel que induce menores externalidades negativas (cambio tecnológico) y que no reduce la producción, consumo o bienestar de la población.

Para no interrumpir el crecimiento económico y el empleo, podemos pensar en rediseñar los impuestos, gravar al trabajo perdido o desperdicio o destrucción de exergía. Potencialmente ayudará a incrementar la competitividad, ahorro y uso eficiente de la energía. Este diseño inducirá la búsqueda de producir más con menos recursos. Entonces una nueva alternativa es: impuestos a la destrucción de exergía, ya sea en el consumidor o el productor. Sobre todo

esto puede ser aplicado a grandes empresas principalmente las generadoras de electricidad, metal-mecánica, petroquímica básica.

Por otro lado, el impulso a la modernización del sector industrial es de gran importancia para la sustentabilidad, para lo cual se debe inducir a la industria establecida a que tome acciones técnico-operativas para optimizar el funcionamiento de sus equipos y procesos, así mejorará su eficiencia, para reducir el consumo de energía y consecuencia de ello la emisión de contaminantes. Se puede lograr una reducción en el consumo de energía entre 15 y 37 % por eficiencia energética.⁹²

Se puede pensar en subsidios, créditos, financiamientos, facilidades para la industria, con el objetivo de aumentar la eficiencia exergética, para buscar la forma de optimizar los procesos, desarrollar nuevos y perfeccionar los ya existentes, en consecuencia, tendremos ahorro de recursos y reducción de costos de producción, creando más con menos.

Es necesario considerar que siempre se tendrá una pérdida y un residuo, sean sistemas biológicos o abióticos, renovables o no renovables, se requiere una contabilidad sistemática de la cantidad y calidad de los recursos utilizados en la obtención del producto, entonces se podrá identificar cómo incrementar la eficiencia exergética, ésta será una poderosa herramienta para reducir las emisiones y/o residuos que generamos actualmente y que dañan al ambiente. Esta herramienta surge en sistemas energéticos, pero puede extrapolarse su uso hacia todos los factores de la producción.

⁹² Moreno et al (2012), Eficiencia Energética, UNAM-Terracota, México p 89.

Conclusiones.

Este análisis se enfoca en procesos reales y tiene un alto nivel de agregación, el cual puede ser aún más agregado y realizarse a nivel mundial. También se puede emplear esta metodología a niveles más reducidos, únicamente se tiene que definir el sistema que se quiera analizar, se puede llegar a analizar: ramas industriales, regiones, procesos productivos, autos, equipos, motores incluso sus componentes.

En las últimas décadas de siglo XX sucedieron graves crisis energéticas que tuvieron severos impactos en el sistema económico y en la vida social. A pesar de los grandes impactos de estas crisis, la estructura del sistema energético ha permanecido prácticamente sin cambios.

En la estructura económica mexicana, (que depende en gran medida de los combustibles fósiles) la determinación y cuantificación de costos se vuelve fundamental, sobre todo cuando existen variaciones en los precios al alza de hidrocarburos. Identificar las “fugas” de recursos y los costos de los procesos ayudan a la toma de decisiones de largo alcance para la economía.

Controlar los costos de producción de energía influye en el nivel de precios de todo el circuito económico, derivado de ello también se reducen las emisiones de gases efecto invernadero.

El análisis exergoeconomico es una herramienta de análisis que puede ayudar a tomar decisiones que promuevan la competitividad debido a un abatimiento en los costos energéticos en el sistema nacional.

Este trabajo es el primer análisis de exergía para el sistema energético mexicano. Además, se contabiliza la exergía destruida. Se estimaron los costos de cada uno de los sectores que consumen exergía en pesos / Segundo. Se convierte en una herramienta de análisis útil para la implementación de política públicas, por ejemplo:

Derivado de este análisis se concluye que es necesario re pensar la estrategia de movilidad en términos exergéticos. En el sector transporte es indispensable tomar acciones que

promuevan el uso de transporte eléctrico porque es el que menos costo exergoeconomico representa y contribuye a la mitigación de GEI.

Proponer el crecimiento de aquellas ramas industriales que tienen menor derroche exergético y por tanto mayor productividad.

La irreversibilidad termodinámica nos indica que únicamente podemos mitigar el efecto negativo de los residuos energéticos y materiales.

Se concluye que el límite del crecimiento económico está delimitado por el aumento en la entropía y se manifiesta claramente en el fenómeno del cambio climático. El análisis energético de segunda ley hace evidente que se degrada el medio ambiente, porque según éste análisis, se desecha 6991 PJ de los 9793 PJ totales que se producen en el país, es decir, el 71 % de la energía total se desperdicia, además de los GEI y los demás contaminantes.

La exergía (por el lado de la oferta) es la cantidad de energía máxima que se puede aprovechar para producir un trabajo útil. Por el lado de la demanda es la cantidad de energía mínima necesaria para producir un trabajo.

El consumo final únicamente llega el 39 % de la exergía inicial. Haciendo el análisis de la primera ley nos dice que es del 70 %. Este análisis descubre que se pierde más de lo que se estimaba y además es energía útil. Se está perdiendo el 61 % en la transformación.

El consumo final es el responsable de un 20 % es sobre todo el derroche mayor. En transportes se desperdicia el 23 %, en el consumo residencial, comercial y el sector público derrocha el 10 % y el derroche en las ramas industriales el 15 %.

El análisis exergetico puede llevar a hacer más eficiente el uso de la energía y repensar la estructura energética y económica. En este sentido este trabajo brinda las bases teóricas para incrementar la eficiencia del uso de los factores de producción y repensar la teoría económica.

Derivado de la eficiencia exergetica (21.1%) se puede concluir que la estructura económica vigente corresponde a un modo de organización de la industria energética que incita a un gran desperdicio de la exergía. La forma de organización actual que se tiene para suministrar de energía a la humanidad y satisfacer sus necesidades es una organización derrochadora de exergía. ¿podríamos configurar organizaciones de sistemas energéticos menos derrochadores de exergía?

El actual sistema de organización energética se basa en el principio de racionalidad económica y aunque se realizan esfuerzos (económicos) por aumentar la eficiencia energética el modelo convencional de suministrar energía es obsoleto por el gran derroche de energía útil. Las evidencias de este trabajo sugieren que una racionalización del uso de la exergía pasa por un cambio profundo en la manera de abastecer de energía al hombre para satisfacer sus necesidades.

Nomenclatura

CO	Monóxido de Carbono.
CO_2	Bióxido de Carbono.
Mtep	Millones de toneladas de equivalentes de petróleo.
PJ	Peta Joule.
Kcal	
Mdb	Miles de barriles diarios.
MMbd	Millones de barriles diarios.
MMMdb	Miles de millones de barriles diarios.
ΔH_C^0	Calor de combustión

Índice de tablas y gráficos

Tabla I	Producción de energía primaria 1970-2013.
Tabla II	Consumo diario de energía en diferentes etapas del desarrollo humano.

Tabla III	Producción mundial de energía primaria 1973-2012.
Tabla IV	Producción y reservas probadas de combustibles fósiles mundiales y de México. 1993-2013.
Tabla V	Principales países productores, exportadores e importadores de energía 2012.
Tabla VI	Indicadores de desarrollo, crecimiento económico, impacto ambiental y utilización de energía.
Tabla VII	Factores de emisión considerados para evaluar las emisiones de Bióxido de Carbono.
Tabla VIII	Indicadores de la industria petrolera mexicana 1901-2013.
Tabla IX	Indicadores de la industria eléctrica mexicana 1900-2013.
Tabla X	Principales indicadores macroeconómicos, México, 1934-2012.
Tabla XI	Producción, exportación de crudo y precios, México 2012.
Tabla XII	Indicadores económicos y energéticos, México 1980-2013.
Tabla XIII	Principales empresas del sector energético en México, 2014.
Tabla XIV	Exergía específica contenida en diferentes flujos de energía.
Gráfico I	Precios del petróleo 1861-2013.
Gráfico II	Balanza comercial, México 1993-2012.

Bibliografía citada:

Álvarez J, [2006], Crónica del petróleo en México, de 1863 a nuestros días, Archivo histórico de Petróleos Mexicanos, PEMEX México.

BP (2014) Statistical Review of world energy, BP June 2014

Calva J, L [2003], “Balance de las políticas públicas: La economía mexicana bajo el consenso de Washington” En: Soberanía y desarrollo, el México que queremos. UNAM, México.

Cárdenas E, [1996], La política económica en México, 1950-1994, FCE-COLMEX, México.

Cengel Yunes 2012, Termodinámica, Séptima edición, Mc Graw Hill, México.

De la Peña y Aguirre, [2006], “De la revolución a la industrialización.” En: Historia económica de México, coordinador Enrique Semo, Océano-UNAM.

Derry Tk, (1977) Williams T. Historia de la tecnología.

Garifias F.J. y Diaz, L, Gasolinas oxigenadas: La experiencia mexicana (2003), Co-edición UNAM-IMP-FCE.

González, F. A, [1972], Historia y petróleo México: El problema del petróleo Ed. Ayuso España.

González Velasco, (2009), Energías renovables, Editorial Reverte, España.

Gil García, (2014) La energía en cifras, Perspectivas globales. Ed. Alfaomega. México

Guallar J y Valero A, Estudio termoeconómico de una planta simple de cogeneración. E.T.S. de ingenieros industriales, Universidad de Zaragoza.

Francisco, Santo padre, (2015), Carta Encíclica, Laudato Si, Sobre el cuidado de la casa común, Tipografía vaticana.

Herrera I, González E, [2004], “Recursos del subsuelo, Siglos XVI al XX” en E Semo: (coord.) Historia Económica de México, México: UNAM-Océano.

Hidalgo Capitán, (1999) Antonio Luis, Una visión retrospectiva de la economía del desarrollo, Universidad de Huelva, España.

IEA (2014) Key World energy statistics, IEA, US.

INEGI (2009) Estadísticas históricas de México. INEGI, México.

INEGI, [2010], Estadísticas históricas de México. INEGI México.

INEGI, Antón S,A, [2011], El ciclo económico en México: características y perspectivas, Realidad datos y espacio, Revista internacional de estadística y geografía, INEGI, México, Vol 2 Núm 2 Mayo-Agosto.

INEGI (2014), El sector energético en México, Series estadísticas sectoriales, INEGI, México.

Jehle G. Reny, (2011) Advanced microeconomic theory, Third edition, Ed Prentice Hall.

Lorenzo Meyer e Isidro Morales, [1990], Petróleo y nación (1900-1987). La política petrolera en México, FCE, México.

Lozano, M, Serra, L, y Valero A, Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. Centro politécnico superior de ingenieros. Universidad de Zaragoza.

Martínez Alier Joan, (1991) La ecología y la economía, México, FCE.

Moreno- Brid y Ros J, [2010], Desarrollo y crecimiento en la economía mexicana. Una perspectiva histórica, FCE, México.

Oropeza, M, [2010], El sector de petróleo y gas en México y el Mundo. Un estudio empírico comparativo de la eficiencia de Petróleos Mexicanos a nivel internacional. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.

Pearce, Economía ambiental. FCE. México 1976.

PEMEX, [1988], El Petróleo 50 Aniversario, Petróleos Mexicanos, México.

Perrotini, Ignacio, [2004], “Restricciones estructurales al crecimiento de México” en: Economía UNAM #1, enero-abril 2004 ED UNAM, México 2004, P. 86-100.

Robbins, Leonel, (1944) Ensayo sobre la naturaleza y la importancia de la ciencia económica. FCE.

Romero, Franco (2006) La energía como fuente de crecimiento y desarrollo en la perspectiva del fin de la era de los combustibles fósiles. Economía informa 340.

Schumpeter, *Teoría del desenvolvimiento económico FCE.* .

Sciubba Enrico, Wall Göran, A brief commented history of exergy from the beginnings to 2004. En: International Journal of Thermodynamics, Vol. 10 (no,1) pp 1.26, March 2007.

SENER (2014), Balance nacional de energía, México 2013. SENER, México

Solow, R.M. (1982) “La teoría del crecimiento”, Fondo de Cultura Económica, México,

SENER, [2001], Balance Nacional de Energía 2000, México.

SENER, [2014], Balance Nacional de Energía 2013, México.

SEPAFIN, [1982], Balance Nacional de Energía 1981, México.

Smith M, Ness (2007), “Introducción a la termodinámica en ingeniería química” Séptima edición, Mc Graw Hill, México.

Tsatsaronis , F Czielsa, Exergy balance and exergetic efficiency. En: Exergy system analysis and optimization Vol. I

Varian H, (1998) Análisis Microeconómico, Tercera edición, Antoni Bosch editor.

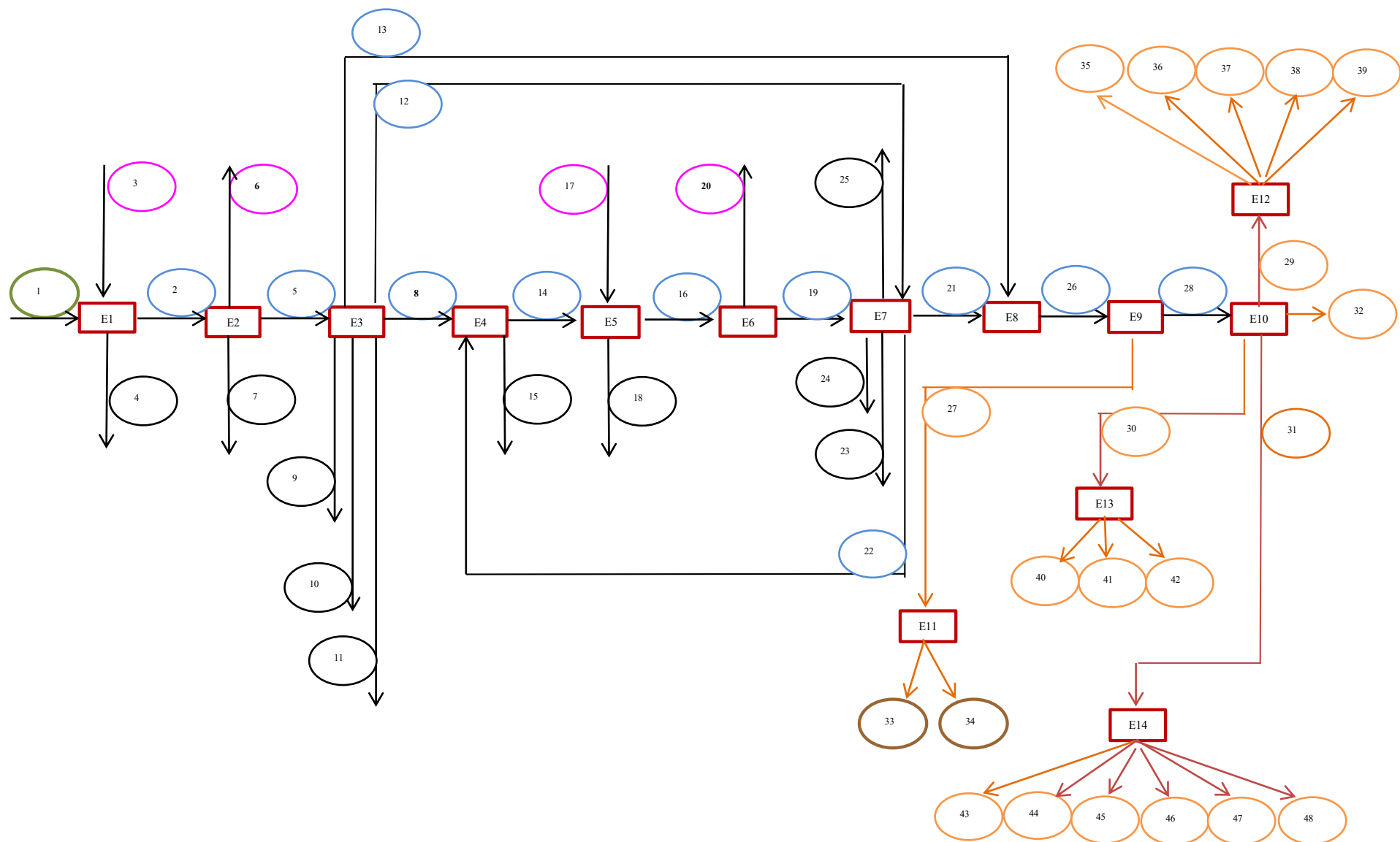
Wionczek M, Gutiérrez R, Guzmán O, [1988], Posibilidades y limitaciones de la planeación energética en México. COLMEX, México.

Referencias electrónicas.

Banco Mundial. [2015] Índice de GINI, World Development Indicators. Disponible en el portal del Banco Mundial: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI> consultado el 25 de Abril de 2015.

BANXICO, [2015] Balanza de Pagos y Comercio Exterior, Disponible en el portal del Banco de México: <http://www.banxico.org.mx/ayuda/temas-mas-consultados/balanza-pagos-comercio-exteri.html> Consultado el 15 de Enero de 2015.

CFE, [2015], CFE y la Electricidad en México, disponible en el portal de la CFE: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx consultado el 21 Marzo 2015.



Apéndice A.

Apendice A. Resumen: Energía, Exergía, Costos Exergéticos, Eficiencia Energética, Eficiencia Exergética,
Costos Exergoeconomicos.

FLUJO		E [PJ]	B [PJ]	0w	B*	B*/E	B*/B	B/B*	ZW	π [\$/año]	π [\$/s]	
1	Producción de energía primaria y otras fuentes	9793	9181	0	9181	0.938	1	1	-1.8E+09	2.4E+11	7658.3	1
2	Oferta total primaria	9996	9387	0	9387	0.939	1	1	-2.3E+10	2.5E+11	7974.2	2
3	Importación de energía primaria	217	206.1	0	206.1	0.95	1	1	-287663	8.1E+09	258.22	3
4	Variación en los inventarios primarios	13.24	0	0	0	0	-	-	-3E+10	0	0	4
5	Oferta interna bruta de energía	7195	6718	0	6761	0.94	1.006	0.994	-1.8E+10	2E+11	6270.3	5
6	Exportación de energía primaria	2746	2609	0	2626	0.956	1.006	0.994	-3.4E+09	7.7E+10	2434.9	6
7	Energía primaria no aprovechada	54.83	0	0	0	0	-	-	-1E+10	0	0	7
8	Insumos de energía primaria en centros de trans	5666	5288	0	5953	1.051	1.126	0.888	-4.3E+10	1.7E+11	5520.3	8
9	Pérdidas por transformación primarias.	31.9	0	0	0	0	-	-	-4.1E+10	0	0	9
10	Recirculaciones y diferencia estadística	454.7	0	0	0	0	-	-	-4.1E+10	0	0	10
11	Consumo propio primario	302	0	0	0	0	-	-	-1.7E+09	0	0	11
12	Transferencia interproductos	288.7	288.7	0	325	1.126	1.126	0.888	-4.8E+09	9.5E+09	301.39	12
13	Consumo final primario	452	429.7	0	483.7	1.07	1.126	0.888	-1.5E+09	1.4E+10	448.6	13
14	Produccion bruta de energía secundaria	5660	5414	0	8856	1.565	1.636	0.611	-4.4E+09	4.5E+11	14190	14
15	Pérdidas por transformación secundarias	1847	0	206.1	0	0	-	-	8.1E+09	0	0	15
16	Oferta total secundaria	7884	7403	9181	10925	1.386	1.476	0.678	2.4E+11	9.2E+11	29215	
17	Importación de energía secundaria	2236	2069	2069	2069	0.925	1	1	4.6E+11	4.6E+11	14446	
18	Variación en los inventarios secundarios	11.85	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
19	Oferta bruta secundaria	7476	7011	0	10351	1.385	1.477	0.677	0	8.8E+11	27785	
20	Exportación de energía secundaria	407.8	388.4	0	573.5	1.407	1.477	0.677	0	4.9E+10	1539.5	
21	Consumo final secundario	4680	4680	0	7773	1.661	1.661	0.602	0	6.5E+11	20679	
22	Combustibles a generación eléctrica	1840	1748	0	2904	1.578	1.661	0.602	0	2.4E+11	7724.6	
23	Consumo propio secundario	727.3	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
24	Pérdidas secundarias	153.1	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
25	Recirculaciones y diferencia estadística	363.5	0	0	0	0	-	-	0	0	0	
26	Consumo final total	5132	4875	0	8256	1.609	1.694	0.59	0	7.1E+11	22493	
27	Consumo final no energético	190.9	190.9	0	323.4	1.694	1.694	0.59	0	2.9E+10	932.3	
28	Consumo final energético	4941	4684	0	7933	1.605	1.694	0.59	0	7.2E+11	22873	
29	Consumo de energía en el sector transporte	2262	2147	0	3708	1.639	1.727	0.579	0	3.6E+11	11292	
30	Consumo en sec. residencial, comercial, público.	909.2	859.2	0	1484	1.632	1.727	0.579	0	1.4E+11	4519.7	
31	Consumo de energía en el sector industrial	1612	1526	0	2636	1.635	1.727	0.579	0	2.5E+11	8029.2	
32	Consumo de energía en el sector agorpecuario	157.6	60.51	0	104.5	0.663	1.727	0.579	0	1E+10	318.3	
33	Consumo no energético, (petroquímica PEMEX)	136.5	136.5	0	231.2	1.694	1.694	0.59	0	2.2E+10	704.99	
34	Consumo no energético, (otras ramas)	54.38	54.38	0	92.11	1.694	1.694	0.59	0	8.9E+09	280.8	
35	Consumo de energía en autotransportes	2076	492.3	0	3361	1.619	6.828	0.146	0	3.3E+11	10374	
36	Consumo de energía en transporte aéreo	127.2	36.25	0	247.5	1.946	6.828	0.146	0	2.4E+10	763.9	
37	Consumo de energía en transporte marítimo	28.75	4.097	0	27.97	0.973	6.828	0.146	0	2.7E+09	86.336	
38	Consumo de energía en transporte ferroviario	26.61	7.586	0	51.8	1.947	6.828	0.146	0	5E+09	159.87	
39	Consumo de energía en transporte eléctrico	4.07	2.849	0	19.45	4.779	6.828	0.146	0	1.9E+09	60.039	
40	Consumo de energía en el sector residencial	742.7	140.2	0	1210	1.629	8.633	0.116	0	1.2E+11	3724.5	
41	Consumo de energía en el sector comercial	133.1	25.05	0	216.3	1.625	8.633	0.116	0	2.1E+10	665.64	
42	Consumo de energía en el sector público	33.43	6.686	0	57.72	1.727	8.633	0.116	0	5.6E+09	177.66	
43	Consumo en la industria de hierro y acero	208.1	77.19	0	406.4	1.953	5.264	0.19	0	4E+10	1259.1	
44	Consumo en la fabricación de cemento	136.2	52.4	0	275.9	2.025	5.264	0.19	0	2.7E+10	854.76	
45	Consumo en PEMEX petroquímica.	116.4	42.13	0	221.8	1.905	5.264	0.19	0	2.2E+10	687.28	

Apéndice B

Apéndice B. Destrucción de Exergía.			
	Procesos	Destrucción de exergía [PJ]	%
1	Importación de energía primaria	0	0%
2	Exportación de energía primaria	60	1%
3	Producción de energía primaria	711	10%
4	Transformación de energía primaria a energía secundaria	1622	23%
5	Importación de energía secundaria	80	1%
6	Exportación de energía secundaria	4	0%
7	Segundo centro de transformación.	871	12%
8	Distribución de energía primaria y secundaria al consumidor final	235	3%
9	Separador, consumo no energético (petroquímica) y consumo energético.	0	0%
10	Separador, Consumo por sector, Agrícola, industrial, transportes, residencial.	91	1%
11	Separador de consumo no energético (petroquímica de PEMEX) y otras ramas	0	0%
12	Consumo en transportes	1604	23%
13	Consumo residencial, comercial y del sector público.	687	10%
14	Consumo en diversas ramas industriales.	1026	15%
15	Energía de desecho disipada al medio ambiente.	6991	100%
$Eficiencia\ Exergética = nb = \frac{Exergía\ de\ los\ productos}{Exergía\ que\ entra\ al\ sistema}$			
Eficiencia con comercio int. primario de exergía			
	Exergía de los productos en 2013	4464	
	Exergía producida en el sistema energético 2013	11455	
	Eficiencia exergética 2013	39.0%	
Eficiencia sin comercio internacional primario			
	Exergía en los productos 2013	1856	
	Exergía que entra al sistema productivo 2013	8787	
	Eficiencia exergética 2013	21.1%	

Apéndice C. Cálculo de Exergía.

Flujo 1 Produccion de erguson primaria y otras fuentes.					
Componente	tCO2	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón	29320759.16	300.46	316.27	3.27%	3.23%
Petróleo	420988524	5508.80	5798.74	60.00%	59.22%
Condensados	6350434.93	96.14	101.20	1.05%	1.03%
Gas natural	157298792.8	2536.19	2817.99	27.62%	28.78%
Nucleo energía	0	122.60	122.60	1.34%	1.25%
Hidroenergía	0	100.66	100.66	1.10%	1.03%
Geoenergía	0	131.33	131.33	1.43%	1.34%
Solar	0	7.52	7.52	0.08%	0.08%
Energía eólica	0	15.07	15.07	0.16%	0.15%
Biogas	109964.415	1.77	1.97	0.02%	0.02%
Bagazo de caña	13575895.66	117.64	123.83	1.28%	1.26%
Leña	28002545.99	242.65	255.42	2.64%	2.61%
Total	655646917	9180.8	9792.6	100%	100%

Flujo 2 Oferta total primaria					
Componente	tCO2	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón	49435613.92	506.58	533.24	5.40%	5.33%
Petróleo	420988524	5508.80	5798.74	58.69%	58.01%
Condensados	6350434.93	96.14	101.20	1.02%	1.01%
Gas natural	157298792.8	2536.19	2817.99	27.02%	28.19%
Nucleo energía	0	122.60	122.60	1.31%	1.23%
Hidroenergía	0	100.66	100.66	1.07%	1.01%
Geoenergía	0	131.33	131.33	1.40%	1.31%
Solar	0	7.52	7.52	0.08%	0.08%
Energía eólica	0	15.07	15.07	0.16%	0.15%

Biogas	109964.415	1.77	1.97	0.02%	0.02%
Bagazo de caña	13575895.66	117.64	123.83	1.25%	1.24%
Leña	28002545.99	242.65	255.42	2.58%	2.56%
Total	675761771.7	9386.95	9996.33	100%	100%

Flujo 3 Importación de energía primaria.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón		206.12	216.97	100%	100%
Total		206.12	216.97		

Flujo 4 Variación en los inventarios primarios.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	13.24	0%	100%

Flujo 5 Oferta interna bruta de energía y exergía primaria.					
Componente	tCO2	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón	49422634.800000	506.45	533.10	7.54%	7.41%
Petróleo	222285954.000000	2908.70	3061.79	43.30%	42.55%

Condensados	5788810.496925	87.64	92.25	1.30%	1.28%
gas natural	153647081.115000	2477.31	2752.57	36.88%	38.26%
Nucleo energía	0.000000	122.60	122.60	1.82%	1.70%
Hidroenergía	0.000000	100.66	100.66	1.50%	1.40%
Geoenergía	0.000000	131.33	131.33	1.95%	1.83%
Solar	0.000000	7.52	7.52	0.11%	0.10%
Energía eólica	0.000000	15.07	15.07	0.22%	0.21%
Biogas	109964.415000	1.77	1.97	0.03%	0.03%
Bagazo de caña	13426794.329251	116.35	122.47	1.73%	1.70%
Leña	28002545.991486	242.65	255.42	3.61%	3.55%
Total	472683785.147662	6718.04	7195.00	100.00%	100.00%

Flujo 6 Exportación de energía primaria.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón		0.13	0.14	0.01%	0.01%
Petróleo		2600.10	2736.95	99.67%	99.67%
Condensados		8.50	8.95	0.33%	0.33%
Total		2608.74	2746.04	100.00%	100.00%

Flujo 7 No aprovechada primaria.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	54.83	0%	100%

Flujo 8 Insumos de energía primaria en centros de transformación.					
Componente	tCO2	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón	39282233.76	402.53	423.72	7.61%	7.48%
Petróleo	205159614	2684.60	2825.89	50.77%	49.87%
Condensados	5783162.877	87.55	92.16	1.66%	1.63%
Gas natural	105619425.1	1702.94	1892.16	32.20%	33.39%
Nucleo energía	0	116.47	122.6	2.20%	2.16%

Hidroenergía	0	95.63	100.66	1.81%	1.78%
Geoenergía	0	124.76	131.33	2.36%	2.32%
Solar	0	0.36	0.38	0.01%	0.01%
Energía eólica	0	14.32	15.07	0.27%	0.27%
Biogas	109964.415	1.77	1.97	0.03%	0.03%
Bagazo de caña	6610889.998	57.29	60.3	1.08%	1.06%
Total	362565290.2	5288.22	5666.24	100%	100%

Flujo 9 Pérdidas primarias.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	31.9	0%	100%

Flujo 10 Recirculaciones y diferencia estadística.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	454.66	0%	100%

Flujo 11. Consmo propio primario.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	301.95		

Flujo 12. Tráferencia interproductos.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		288.72	288.72		

Flujo 13. Consumo final primario.					
Componente	tCO2	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón	11798020.08	120.90	127.26	28.13%	28.16%

Energía solar	0	7.14	7.14	1.66%	1.58%
Bagazo de caña	6815904.331	59.06	62.17	13.74%	13.75%
Leña	28002545.99	242.65	255.42	56.46%	56.51%
Total	46616470.4	429.75	451.99	100.00%	100.00%

Flujo 14. Produccion bruta de energía secundaria.					
Componente	tCO2	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de carbón	5449376.24	55.84	58.78	1%	1%
Coque de petróleo	8751657.75	83.29	87.67	2%	2%
Gas licuado	19456930.68	280.47	311.63	5%	6%
Gasolinas y naftas	65484695.43	906.77	954.49	17%	17%
Querosenos	8737700.4	117.27	123.44	2%	2%
Diesel	47940538.8	621.11	653.8	11%	12%
Combustoleo	47915048.94	594.30	625.58	11%	11%
Productos no energ	0	159.39	167.78	3%	3%
Gas seco	89417815.25	1521.81	1601.91	28%	28%
Otros Gas alto horno, gasoleo	289078.68	4.40	4.63	0%	0%
Electricidad	0	1069.85	1069.85	20%	19%
Total	293442842.2	5414.49	5659.56	100%	100%

Flujo 15. Pérdidas por transformación.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coquizadoras		0	20.38	0%	1%
Refinerías y despuntadoras		0	264.14	0%	14%
Plantas gas y fraccionadoras		0	19.77	0%	1%
Cen. Elec Públicas		0	998.39	0%	54%
Cen. Elec PIE:		0	391.59	0%	21%
Cen. Elec Autogeneración		0	152.78	0%	8%
Total		0	1847.05	0%	100%

Flujo 16. Oferta total secundaria.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de carbón		65.24	68.67	0.88%	0.87%
Coque de petróleo		164.65	173.32	2.22%	2.20%
Gas licuado		388.12	431.24	5.24%	5.47%
Gasolinas y naftas		1584.87	1,668.28	21.41%	21.16%
Querosenos		123.50	130.00	1.67%	1.65%
Diesel		833.34	877.20	11.26%	11.13%
Combustoleo		663.54	698.46	8.96%	8.86%
Productos no energ		159.39	167.78	2.15%	2.13%
Gas seco		2340.08	2,600.09	31.61%	32.98%
Otros auto gen		4.40	4.63	0.06%	0.06%
Electricidad		1075.79	1,075.79	14.53%	13.65%
Oferta Total		7402.91	7,895.46	100.00%	100.15%
OT-var		7402.91	7,883.61	100%	100%

Flujo 17 Importación de energía secundaria.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de carbón		9.40	9.89	0.45%	0.44%
Coque de petróleo		81.37	85.65	3.93%	3.83%

Gas licuado		107.65	119.61	5.20%	5.35%
Gasolinas y naftas		678.10	713.79	32.78%	31.92%
Querosenos		6.23	6.56	0.30%	0.29%
Diesel		212.23	223.4	10.26%	9.99%
Combustoleo		69.24	72.88	3.35%	3.26%
Productos no energ		0.00	0	0.00%	0.00%
Gas seco		898.36	998.18	43.43%	44.64%
Otros		0.00	0	0.00%	0.00%
Electricidad		5.94	5.94	0.29%	0.27%
Total		2068.51	2235.9	100%	100%

Flujo 18. Variación en los inventarios secundarios.

Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	11.85	0%	100%

Flujo 19 Oferta bruta secundaria.

Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de carbón		65.22	68.65	1%	1%
Coque de petróleo		145.12	152.76	2.07%	2.04%
Gas licuado		387.87	430.97	5.53%	5.76%
Gasolinas y naftas		1466.31	1,543.48	20.92%	20.65%
Querosenos		123.50	130.00	1.76%	1.74%
Diesel		833.34	877.20	11.89%	11.73%
Combustoleo		453.13	476.98	6.46%	6.38%
Productos no energ		158.47	158.47	2.26%	2.12%
Gas seco		2335.73	2,595.25	33.32%	34.72%
otros		4.40	4.63	0.06%	0.06%
Electricidad		1049.31	1,049.31	14.97%	14.04%
Total		7022.39	7487.7	100%	100%
OB-VAR		7010.54	7475.85	100%	100%

Flujo 20. Exportacion de energía secundaria.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de carbón		0.02	0.02	0.00%	0.00%
Coque de petróleo		19.53	20.56	5.03%	5.04%
Gas licuado		0.24	0.27	0.06%	0.07%
Gasolinas y naftas		118.56	124.8	30.52%	30.61%
Querosenos		0.00	0	0.00%	0.00%
Diesel		0.00	0	0.00%	0.00%
Combustoleo		210.41	221.48	54.17%	54.32%
Productos no energ		8.84	9.31	2.28%	2.28%
Gas seco		4.36	4.84	1.12%	1.19%
otros		0.00	0	0.00%	0.00%
Electricidad		26.48	26.48	6.82%	6.49%
Total		388.44	407.76	100%	100%

Flujo 21. Consumo final secundario.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		4,680.33	4680.33	0%	100%

Flujo 22. Combustibles a generación eléctrica.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de carbón		0.00	0	0.00%	0.00%
Coque de petróleo		34.31	36.12	1.96%	1.96%
Gas licuado		0.17	0.18	0.01%	0.01%
Gasolinas y naftas		0.00	0	0.00%	0.00%
Querosenos		0.00	0	0.00%	0.00%
Diesel		27.47	28.92	1.57%	1.57%
Combustoleo		394.32	415.07	22.55%	22.55%

Productos no energ		0.00	0	0.00%	0.00%
Gas seco		1287.69	1355.46	73.65%	73.65%
otros		4.40	4.63	0.25%	0.25%
Electricidad		0.00	0	0.00%	0.00%
Total		1748.36	1840.38	100.00%	100.00%

Flujo 23 Consumo propio secundarios.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	727.32	0	100

Flujo 24 Pérdidas secundarias.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	153.07	0	100

Flujo 25 Recirculaciones y diferencia estadística.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		0	363.49	0	100

Flujo 26 Consumo final total por tipo de combustible.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Consumo no energético		190.91	190.91	3.92%	3.72%
Bagazo de caña		0.18	0.18	0.00%	0.00%
Gas licuado		1.08	1.08	0.02%	0.02%
Gas seco		26.08	26.08	0.54%	0.51%

Gasolinas y naftas		42.15	42.15	0.86%	0.82%
Productos no energéticos		121.42	121.42	2.49%	2.37%
Consumo energético		4683.71	4941.40	96.08%	96.28%
Carbón		120.90	127.26	2.48%	2.48%
Solar		7.14	7.14	0.15%	0.14%
Combustóleo		24.17	25.44	0.50%	0.50%
Coque de carbón		61.87	65.13	1.27%	1.27%
Querosenos		121.31	127.69	2.49%	2.49%
Coque de petróleo		92.78	97.66	1.90%	1.90%
Biomasa		301.54	317.41	6.19%	6.18%
Gas licuado		384.44	427.16	7.89%	8.32%
Gas seco		575.06	638.95	11.80%	12.45%
Electricidad		846.57	846.57	17.37%	16.49%
Diesel		748.77	788.18	15.36%	15.36%
Gasolinas y naftas		1399.17	1472.81	28.70%	28.70%
Consumo final total		4874.62	5132.31	100.00%	100.00%

Flujo 27 Consumo final no energético.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Bagazo de caña		0.18	0.18	0.09%	0.09%
Gas licuado		1.08	1.08	0.57%	0.57%
Gas seco		26.08	26.08	13.66%	13.66%
Gasolinas y naftas		42.15	42.15	22.08%	22.08%
Productos no energéticos		121.42	121.42	63.60%	63.60%
Total		190.91	190.91	100.00%	100.00%

Flujo 28 Consumo final energético.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbon		120.90	127.26	2.58%	2.58%
Solar		7.14	7.14	0.15%	0.14%
Combustoleo		24.17	25.44	0.52%	0.51%

Coque de carbón		61.87	65.13	1.32%	1.32%
Querosenos		121.31	127.69	2.59%	2.58%
Coque de petróleo		92.78	97.66	1.98%	1.98%
Biomasa		301.54	317.41	6.44%	6.42%
Gas licuado		384.44	427.16	8.21%	8.64%
Gas seco		575.06	638.95	12.28%	12.93%
Electricidad		846.57	846.57	18.07%	17.13%
Diesel		748.77	788.18	15.99%	15.95%
Gasolinas y naftas		1399.17	1472.81	29.87%	29.81%
Total		4683.71	4941.4	100.00%	100.00%

Flujo 29 Consumo de energía en el sector transporte.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Gas licuado		48.69	54.1	2.27%	2.39%
Gasolinas y naftas		1398.36	1471.96	65.14%	65.07%
Querosenos		120.01	126.33	5.59%	5.58%
Diesel		574.48	604.72	26.76%	26.73%
Combustóleo		0.08	0.08	0.00%	0.00%
Gas seco		0.78	0.87	0.04%	0.04%
Electricidad		4.23	4.23	0.20%	0.19%
Total		2146.64	2262.29	100.00%	100.00%

Flujo 30 Consumo de energía en el sector residencial, comercial y público.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Energía solar		6.810	6.81	0.79%	0.75%

Leña		242.649	255.42	28.24%	28.09%
Gas licuado		289.791	321.99	33.73%	35.41%
Querosenos		1.215	1.35	0.14%	0.15%
Diesel		3.960	4.4	0.46%	0.48%
Gas seco		40.410	44.9	4.70%	4.94%
Electricidad		274.350	274.35	31.93%	30.17%
Total		859.185	909.22	100.00%	100.00%

Flujo 31 Consumo de energía en el sector industrial.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Energía solar		0.33	0.33	0.02%	0.02%
Bagazo de caña		58.89	61.99	3.86%	3.84%
Carbón		120.90	127.26	7.92%	7.89%
Coque de carbon		61.87	65.13	4.05%	4.04%
Coque de petroleo		92.78	97.66	6.08%	6.06%
Gas licuado		40.55	45.05	2.66%	2.79%
Gasolinas y naftas		0.81	0.85	0.05%	0.05%
Querosenos		0.00	0	0.00%	0.00%
Diesel		61.30	64.53	4.02%	4.00%
Combustóleo		24.09	25.36	1.58%	1.57%
Gas seco		533.86	593.18	34.98%	36.79%
Electricidad		530.97	530.97	34.79%	32.93%
Total		1526.35	1612.31	100.00%	100.00%

Flujo 32 Consumo de energía en el sector agropecuario.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Gas licuado		5.43	6.03	3.59%	3.83%
Querosenos		0.01	0.01	0.01%	0.01%
Diesel		108.80	114.53	71.93%	72.67%
Electricidad		37.03	37.03	24.48%	23.50%
Total		151.27	157.60	100.00%	100.00%

Flujo 33 Consumo no energético, petroquímica PEMEX.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		136.53	136.53	100%	100%

Flujo 34 Consumo no energético, otras ramas.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		54.38	54.38	100%	100%

Flujo 35 Consumo de energía en autotransportes .					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Gas licuado		48.69	54.10	2.47%	2.61%
Gasolinas y naftas		1397.55	1471.10	70.97%	70.87%
Diesel		522.12	549.60	26.52%	26.48%
Gas seco		0.78	0.87	0.04%	0.04%
Total		1969.14	2075.67	100.00%	100.00%

Flujo 36 Consumo de energía en transporte aéreo.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Gasolinas y nafta		0.82	0.86	0.68%	0.68%
Queroseno		120.01	126.33	99.32%	99.32%
Total		120.83	127.19	100.00%	100.00%

Flujo 37 Consumo de energía en transporte marítimo.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Diesel		27.24	28.67	99.72%	99.72%

Combustoleo		0.08	0.08	0.28%	0.28%
Total		27.31	28.75	100.00%	100.00%

Flujo 38 Consumo de energía en transporte ferroviario.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Diesel		25.13	26.45	99.37%	99.40%
Electricidad		0.16	0.16	0.63%	0.60%
Total		25.29	26.61	100.00%	100.00%

Flujo 39 Consumo de energía en transporte eléctrico.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Total		4.07	4.07	100%	100%

Flujo 40 Consumo de energía en el sector residencial.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Energía solar		4.07	4.07	0.58%	0.55%
Leña		242.65	255.42	34.62%	34.39%
Gas licuado		231.26	256.96	33.00%	34.60%
Querosenos		1.28	1.35	0.18%	0.18%
Gas seco		30.42	33.80	4.34%	4.55%
Electricidad		191.14	191.14	27.27%	25.73%
Total		700.83	742.74	100.00%	100.00%

Flujo 41 Consumo de energía en el sector comercial.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Energía solar		2.77	2.77	2.21%	2.08%
Gas licuado		58.53	65.03	46.73%	48.86%
Diesel		4.18	4.40	3.34%	3.31%
Gas seco		9.99	11.10	7.98%	8.34%
Electricidad		49.78	49.78	39.74%	37.40%
Total		125.25	133.08	100.00%	100.00%

Flujo 42 Consumo de energía en el sector público.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Electricidad		33.43	33.43	100%	100%
Total		33.43	33.43		

Flujo 43 Consumo de energía en la industria básica de hierro y acero.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de carbón		61.87	65.13	32.06%	31.30%
Coque de petróleo		2.15	2.26	1.11%	1.09%
Gas licuado		0.01	0.01	0.00%	0.00%
Quersoenos		0.00	0.00	0.00%	0.00%
Diesel		0.84	0.88	0.43%	0.42%
Combustóleo		2.78	2.93	1.44%	1.41%
Gas seco		103.75	115.28	53.76%	55.40%
Electricidad		21.58	21.58	11.18%	10.37%
Total		192.98	208.07	100.00%	100.00%

Flujo 44 Consumo de energía en la fabricación de cemento y productos a base de cemento .					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Carbón		5.57	5.86	4.25%	4.30%
Coque de carbón		0.00	0.00	0.00%	0.00%

Coque de petróleo		83.66	88.06	63.86%	64.64%
Gas licuado		0.00	0.00	0.00%	0.00%
Diesel		0.26	0.27	0.20%	0.20%
Combustóleo		1.42	1.49	1.08%	1.09%
Gas seco		3.98	4.42	3.04%	3.24%
Electricidad		36.13	36.13	27.58%	26.52%
Total		131.00	136.23	100.00%	100.00%

Flujo 45 Consumo de energía en PEMEX petroquímica.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Diesel		0.42	0.44	0.40%	0.38%
Combustóleo		0.10	0.10	0.09%	0.09%
Gasolinas y naftas		0.00	0.00	0.00%	0.00%
Gas seco		99.70	110.78	94.65%	95.14%
Electricidad		5.12	5.12	4.86%	4.40%
Total		105.34	116.44	100.00%	100.00%

Flujo 46 Consumo de energía en la industria química.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Coque de petróleo		1.81	1.90	2.09%	2.03%
Gas licuado		0.76	0.84	0.87%	0.90%
Diesel		3.99	4.20	4.61%	4.48%
Combustóleo		3.20	3.37	3.70%	3.60%
Gas seco		59.66	66.29	68.95%	70.73%
Electricidad		17.12	17.12	19.78%	18.27%
Total		86.53	93.72	100.00%	100.00%

Flujo 47 Consumo de energía en la elaboración de azúcares.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Bagazo de caña		54.91	57.80	88.06%	88.35%
Gas licuado		0.00	0.00	0.00%	0.00%
Diesel		0.00	0.00	0.00%	0.00%
Combustóleo		3.31	3.48	5.30%	5.32%
Electricidad		4.14	4.14	6.64%	6.33%
Total		62.36	65.42	100.00%	100.00%

Flujo 48 Consumo de energía en otras ramas industriales.					
Componente	Masa	Exergía [PJ]	Energía [PJ]	% Exergía	% Energía
Energía solar		0.33	0.33	0.03%	0.03%
Bagazo de caña		3.98	4.19	0.42%	0.42%
Carbón		115.33	121.40	12.16%	12.23%
Coque de carbon		0.00	0.00	0.00%	0.00%
Coque de petroleo		5.17	5.44	0.55%	0.55%
Gas licuado		39.78	44.20	4.20%	4.45%
Gasolinas y naftas		0.81	0.85	0.09%	0.09%
Querosenos		0.00	0.00	0.00%	0.00%
Diesel		55.80	58.74	5.89%	5.92%
Combustóleo		13.29	13.99	1.40%	1.41%
Gas seco		266.77	296.41	28.14%	29.87%
Electricidad		446.88	446.88	47.13%	45.03%
Total		948.14	992.43	100.00%	100.00%

A X E				A X B				Vector resultado			Vector de costo			k			n			Equipo	r(S/año)	n[S/k]	S/año	Mag	Unidad		
15 X 48	48 X 1	14 X 48	48 X 1	16 X 48	48 X 1	15 x 48	48 X 1	FLUJO	B [PJ]	E [PJ]	%	B*	B*/E	B*/B	B/B*	ZW											
1	0		0	1	0	1	0	9181	9793		0%	9181	0.938	1	1	-1.82E+09	1	transp	2.42E+11	7658.281	2E-09	9E-06	S/PJ				
2	0		0	2	60	2	60	9387	9996		1%	9387	0.939	1	1	-2.70E+09	2	transp	3.53E+11	7974.245	2E-09	9E-06	S/PJ				
3	0		0	3	711	3	711	206	217		10%	206	0.950	1	1	-2.88E+07	3	PP ext	8.34E+09	258.288	2E-09	9E-06	S/PJ				
4	0		0	4	1622	4	1622	23%	4	13	23%	4	0.000	#####	#####	-2.96E+10	4	centra	0.00E+00	0	3E+10	2E-09	9E-06	S/PJ			
5	0		0	5	80	5	80	6718	7195		1%	6718	0.940	1.006	0.994	-1.62E+09	5	transp	1.99E+11	6270.255	2E-09	9E-06	S/PJ				
6	0		0	6	4	6	4	2609	2746		0%	2609	0.956	1.006	0.994	-3.43E+09	6	transp	7.68E+10	2434.853	3E-09	9E-06	S/PJ				
7	0		0	7	871	7	871	12%	7	0	12%	7	0.000	#####	#####	-1.00E+10	7	petroq	0.00E+00	0	1E+10	2E-09	9E-06	S/PJ			
8	0		0	8	235	8	235	5288	5666		3%	5288	1.051	1.126	0.888	-4.73E+09	8	transp	1.74E+11	5520.27	4E-09	9E-06	S/PJ				
9	0		0	9	0	9	0	0	32		0%	0	0.000	#####	#####	-4.34E+10	9	transp	0.00E+00	0	4E+10	9E-06	S/PJ				
10	0		0	10	91	10	91	10	0	455	0%	10	0.000	#####	#####	-4.04E+10	10	transp	0.00E+00	0	4E+10	9E-06	S/PJ				
11	0		0	11	0	11	0	0	302		0%	11	0.000	#####	#####	-1.69E+09	11	transp	0.00E+00	0	2E+09	9E-06	S/PJ				
12	0		0	12	1604	12	1604	289	289		23%	12	1.126	1.126	0.888	-4.80E+09	12	transp	9.50E+10	301.8991	5E-09	9E-06	S/PJ				
13	0		0	13	687	13	687	430	452		10%	13	1.070	1.126	0.888	-1.52E+09	13	transp	1.43E+11	448.6649	2E-09	9E-06	S/PJ				
14	0		0	14	1026	14	1026	5414	5660		15%	14	1.565	1.636	0.611	-4.42E+09	14	transp	6.47E+11	1639.58	4E-09	9E-06	S/PJ				
15	0		0	15	-6991	15	-6991	tot	6991	100%	100%	15	0	0.000	#####	#####	8.34E+09	F15	0.00E+00	0							
								Exergía destruida en cada proceso				16	7403	7884	2	9181	10925	1.386	1.476	0.678	2.42E+11	F1	9.23E+11	29215.33			
												17	2069	2236	3	2069	2069	0.925	1	1	4.38E+11	F17	0.56E+11	16446.24			
												18	0	12	4	0	0	0.000	#####	#####	0.00E+00	18	0.00E+00	0			
												19	7011	7476	5	0	10351	1.385	1.477	0.677	0.00E+00	19	8.76E+11	27784.47			
												20	388	408	6	0	573.5	1.407	1.477	0.677	0.00E+00	20	4.83E+09	6539.494			
												21	4680	4680	7	0	7773	1.661	1.661	0.602	0.00E+00	21	6.32E+10	20678.57			
												22	1748	1840	8	0	2904	1.578	1.661	0.602	0.00E+00	22	2.44E+11	7724.544			
												23	0	727	9	0	0	0.000	#####	#####	0.00E+00	23	0.00E+00	0			
												24	0	153	10	0	0	0.000	#####	#####	0.00E+00	24	0.00E+00	0			
												25	0	363	11	0	0	0.000	#####	#####	0.00E+00	25	0.00E+00	0			
												26	4875	5132	12	0	8256	1.609	1.694	0.59	0.00E+00	26	7.99E+11	22492.85			
												27	191	191	13	0	323.4	1.694	1.694	0.59	0.00E+00	27	2.94E+10	932.3021			
												28	4684	4941	14	0	7933	1.605	1.694	0.59	0.00E+00	28	3.23E+11	12387.73			
												29	2147	2262	15	0	3708	1.639	1.727	0.579	0.00E+00	29	1.56E+11	11292.22			
												30	859	909	16	0	1484	1.632	1.727	0.579	0.00E+00	30	1.43E+11	4519.472			
												31	1526	1612	17	0	2636	1.635	1.727	0.579	0.00E+00	31	2.53E+11	6029.228			
												32	61	158	18	0	104.5	0.663	1.727	0.579	0.00E+00	32	1.00E+10	318.2974			
												33	137	137	19	0	231.2	1.694	1.694	0.59	0.00E+00	33	2.22E+10	704.9395			
												34	54	54	20	0	92.11	1.694	1.694	0.59	0.00E+00	34	1.86E+09	280.7979			
												35	492	2076	21	0	3361	1.619	6.828	0.146	0.00E+00	35	3.27E+11	9374.22			
												36	36	127	22	0	247.5	1.946	6.828	0.146	0.00E+00	36	2.48E+10	763.9007			
												37	4	29	23	0	27.97	0.973	6.828	0.146	0.00E+00	37	1.72E+09	46.33598			
												38	8	27	24	0	51.8	1.947	6.828	0.146	0.00E+00	38	8.04E+09	19.8897			
												39	3	4	25	0	19.45	4.779	6.828	0.146	0.00E+00	39	1.89E+09	60.03874			
												40	140	743	26	0	1210	1.629	8.633	0.116	0.00E+00	40	1.37E+11	3724.524			
												41	25	133	27	0	216.3	1.625	8.633	0.116	0.00E+00	41	2.30E+10	665.6442			
												42	7	33	28	0	57.72	1.727	8.633	0.116	0.00E+00	42	5.60E+09	177.6631			
												43	77	208	29	0	406.4	1.953	5.264	0.19	0.00E+00	43	3.97E+10	1259.147			
												44	52	136	30	0	275.9	2.025	5.264	0.19	0.00E+00	44	2.70E+10	854.7643			
												45	42	116	31	0	221.8	1.905	5.264	0.19	0.00E+00	45	2.17E+10	687.2813			
												46	26	94	32	0	136.7	1.458	5.264	0.19	0.00E+00	46	1.54E+10	423.4551			
												47	19	65	33	0	98.48	1.505	5.264	0.19	0.00E+00	47	6.62E+09	305.3415			
												48	284	992	34	0	1497	1.509	5.264	0.19	0.00E+00	48	1.46E+11	4639.753			

Flujo 3 Importación de energía primaria.					Flujo 1 Producción de energía primaria y otras fuentes.				
Componente	energía [PJ]	S/PJ Com	S/año		Componente	energía [PJ]	S/PJ Com	S/año	
Carbón	306.3235	39506432	8.34E+09		Carbón	306.4565	26306067	2.9E+09	
Total	306.3235		8.34E+09		Petróleo	5508.803	26306067	1.45E+11	
					Condensados	96.34	26306067	2.53E+09	
					Gas natural	2536.193	26306067	6.67E+10	
					Núcleo energía	322.6	26306067	1.23E+09	
					Hydroenergía	808.66	26306067	2.65E+09	
					Geoenergía	311.33	26306067	3.45E+09	
					Solar	7.52	26306067	1.98E+08	
					Energía eólica	15.07	26306067	3.96E+08	
					Biogas	1.773	26306067	466.69E+7	
					Bagazo de caña	117.6185	26306067	3.09E+09	
					Leña	242.649	26306067	6.38E+09	
					Total	9308.831		2.42E+11	

Flujo 17 Importación de energía secundaria.				
Componente	energía [PJ]	S/PJ Com	S/año	
Coque de carbón	9.3935	95906432	1.73E+08	
Coque de petróleo	61.3675	2.24E+08	1.82E+09	
Gas licuado	107.649	2.24E+08	2.41E+09	
Gasolinas y naftas	678.1095	2.24E+08	1.52E+10	
Querosenos	6.235	2.24E+08	1.99E+09	
Diesel	232.23	2.24E+08	4.74E+10	
Combustóleo	69.236	1.89E+08	1.89E+10	
Productos no energ	0	2.24E+08	0	
Gas seco	898.362	2.24E+08	2.93E+11	
Otros	0	2.24E+08	0	
Electricidad	5.94	2.24E+08	1.33E+09	
Total	2668.513		4.56E+11	

Costo "real" encontrado	Precio "estimado" no encontrado
41	25
42	7
43	77
44	52
45	42
46	26
47	19
48	284

