


# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

## **DIVISIÓN DE INGENIERIA**

### **DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Balance Energético de Base para el Estado de  
Sonora: hacia un Diagnóstico Energético**

The seal of the University of Sonora is a large, circular emblem in the background. It features a central shield with a book, a lamp, and a sun. The shield is surrounded by a circular border containing the text 'UNIVERSIDAD DE SONORA'. Below the shield, the year '1942' is visible. The seal is rendered in a light blue color.

**TRABAJO ESCRITO**

**TODO LO ILUMINAN**

**Que para obtener el DIPLOMA de  
ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SUSTENTABLE**

**Presenta:**

**Carlos Miguel Luna Zavala**

**1942**

**Director de Tesina:  
Dr. Javier Esquer Peralta**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## Resumen

En este trabajo se presenta un balance energético de base, esto es, una visión general del sistema de energía que permite conocer la generación, transformación y destino de los flujos, y a su vez sirve de fundamento para una futura prospectiva energética que, en el mejor de los casos, debe servir de herramienta confiable para la planificación y generación de políticas. Cualquier intento de realizar una planeación sustentable debe pasar antes por este paso que es la comprensión de la situación actual, en este caso, del sector energético del Estado de Sonora. En dicho estado ha surgido un interés por diversificar las fuentes ante el reto que nos impone el límite del petróleo barato y se ha formado un marco regulatorio sólido que da una base confiable para la creación de políticas energéticas locales.

Además, se explora una opción para medir la sustentabilidad utilizando la evaluación en emergencia (escrita con *m*) de Odum. Una de las grandes dificultades cuando se habla de sustentabilidad es encontrar indicadores confiables que permitan medir progresos y comparar sistemas. En este sentido, se presenta el diagrama ternario en emergencia, diseñado en la UNIP de Sao Paulo, Brasil, como una herramienta sencilla y muy intuitiva para la comunicación de los resultados en emergencia y para, en base a estos, llegar a tomar decisiones y diseñar iniciativas.

## Abstract

Within this paper a basic energy balance is presented, which is an overview of the energy system that provides information about the generation, transformation, and destiny of the flows within, it also works as a basis for future energy prospect and, in the best case, it should serve as a reliable tool for planning and policy generation. Any attempt to create a sustainable planning must pass this step before giving an understanding of the current situation, in this case, of the energy sector of the State of Sonora. In such state there has been an interest in diversifying the energy sources because of the challenge imposed by the limits of cheap oil, and, for that reason, there is now a solid regulatory framework that provides a good basis for the creation of local energy policies.

This study also explores an option to measure the sustainability by using Odum's emergy (spelled with m) evaluation. One of the great difficulties when talking about sustainability is to find trustable indicators that allow measuring progress and compare systems. In this sense, a graphic tool called emergetic ternary diagram is presented, designed in the UNIP of Sao Paulo, Brazil; this is a simple and intuitive tool for communicate emergy results and, based on this diagram, make decision and design initiatives.

## Índice de Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivo estratégico	3
3. Objetivos específicos	3
4. Análisis literario	4
4.1. Situación energética global	4
4.2. Planificación energética y desarrollo sustentable	6
4.2.1. Modelos de demanda energética	
4.3. Balance energético	10
4.3.1. Metodologías para la elaboración de un balance energético	
4.4. Planificación energética en México	13
4.5. Evaluación de la sustentabilidad	14
5. Metodología	17
5.1. Tipo de investigación	17
5.2. Diseño utilizado	17
5.3. Objeto de estudio y alcances	18
5.4. Instrumentos de recolección y manejo de datos	18
5.4.1. Metodología para el balance de energía	
5.4.2. Metodología para la evaluación en energía	
6. Resultados	29
6.1. Visión general del Estado de Sonora	29
6.2. Descripción del sistema energético de Sonora	30
6.2.1. Oferta de energía primaria	
6.2.2. Transformación de energía y oferta de energía secundaria	
6.2.3. Consumo de energía	
6.3. Balance energético del Estado de Sonora	49
6.4. Evaluación en energía del sistema energético sonorense	61
6.4.1. Indicadores de sustentabilidad basados en energía	
6.4.2. Resultados en el diagrama ternario	
7. Discusión	68
7.1. Oferta, transformación y demanda de energía	68
7.2. Indicadores globales del sistema energético sonorense	70
7.3. Indicadores y diagrama ternario en energía	70

8. Conclusiones	73
9. Recomendaciones	74
10. Referencias	75

## Índice de Anexos

Anexo 1. Balances energéticos del Estado de Sonora 2005-2008	82
Anexo 2. Balance energético integral	86
Anexo 3. Cuentas del Balance Energético de Base e indicadores globales	89
Anexo 4. Procedimiento de la evaluación en emergía	94
Anexo 5. Diagrama ternario en emergía	98
Anexo 6. Cálculo de los componentes en emergía para una planta termosolar	100
Anexo 7. Estimaciones	102

## Índice de Figuras

Figura 5.1.	Diseño del estudio	17
Figura 5.2.	Formación de un-Balance de Energía	19
Figura 5.3.	Esquema de la matriz general del Balance Energético	20
Figura 5.4.	Diagrama de flujo de energía en el balance energético (IDEE/FB, 2009)	21
Figura 5.5.	Ejemplo de un sistema representado en el diagrama ternario en emergía	26
Figura 5.6.	Comparación entre dos sistemas evaluados en emergía y representados en el diagrama ternario	26
Figura 5.7.	Diagrama ternario en emergía con las líneas de sustentabilidad	27
Figura 5.8.	Representación del punto <i>simergía</i> para los sistemas A y B	27

Figura 5.9.	Representación completa de un sistema con varios componentes, punto simergia y amplitud del área del punto según participación en el sistema	28
Figura 6.1.	Imagen satelital del Estado de Sonora	29
Figura 6.2.	Crecimiento del PIB en Sonora del 2001 al 2008	30
Figura 6.3.	Comparación entre las variaciones porcentuales anuales del consumo energético y el PIB estatal	31
Figura 6.4.	Lugares de interconexión de los gasoductos para el comercio internacional con Estados Unidos	32
Figura 6.5.	Consumo de electricidad en el noroeste	32
Figura 6.6.	Demanda regional de petrolíferos	33
Figura 6.7.	Flujo de distribución de gas LP	34
Figura 6.8.	Flujo energético en el Estado de Sonora	50
Figura 6.9.	Estructura porcentual de producción de energía primaria	51
Figura 6.10.	Estructura de la oferta bruta de energía primaria	52
Figura 6.11.	Estructura de los insumos a las centrales eléctricas	53
Figura 6.12.	Oferta bruta de energía secundaria en Sonora	54
Figura 6.13.	Consumo energético final en Sonora por sectores	55
Figura 6.14.	Estructura porcentual del consumo energético en el sector transporte	56
Figura 6.15.	Estructura porcentual del consumo energético en el sector industrial/minero	56
Figura 6.16.	Estructura porcentual del consumo energético en el sector residencial	57
Figura 6.17.	Estructura porcentual del consumo energético en el sector comercial	57
Figura 6.18.	Estructura porcentual del consumo energético en el sector agrícola	57
Figura 6.19.	Estructura del consumo final total por tipo de energético	58
Figura 6.20.	Balance energético del Estado de Sonora 2009	60
Figura 6.21.	Diagrama ternario en energía para el sistema energético sonorense	62
Figura 6.22.	Representación del diagrama ternario y punto simergético del sector eléctrico	63
Figura 6.23.	Representación en el diagrama ternario de energía del sistema	64

	eléctrico de Sonora agregando la propuesta 1	
Figura 6.24.	Representación en el diagrama ternario. Producción termosolar igual a la producción por termoeléctrica	65
Figura 6.25.	Representación del diagrama ternario del sistema eléctrico sonorense más la propuesta 2	66
Figura 6.26.	Representación en el diagrama ternario de la propuesta 2 con una producción eólica igual a la producción por termoeléctrica	67
Figura A1.1.	Balance energético del Estado de Sonora 2005	82
Figura A1.2.	Balance energético del Estado de Sonora, 2006	83
Figura A1.3.	Balance energético del Estado de Sonora, 2007	84
Figura A1.4.	Balance energético del Estado de Sonora, 2008	85
Figura A2.1.	Esquema del Balance Energético Integral	87
Figura A4.1.	Diagrama de energía del sistema en estudio, a) Diagrama complejo y b) Diagrama agregado	95
Figura A4.2.	Tabla de evaluación en energía de una plantación de pinos en Nueva Zelanda, flujos anuales por hectárea	97
Figura A4.3.	Principales categorías de flujos de energía	97
Figura A5.1.	Representación de a) diagrama ternario, b) un sistema A, c) un sistema X compuesto por una combinación de los sistemas P y Q y d) una línea de sensibilidad	99
Figura A7.1.	Gráfica de los datos obtenidos y fórmula de regresión lineal	102

### Índice de tablas

Tabla 5.1.	Elementos que contiene un balance energético (conceptos considerados relevantes para el caso del sistema sonorense)	19
Tabla 5.2.	Transformidades para los productos energéticos del sistema sonorense	23
Tabla 5.3.	Transformidades de las fuentes alternativas de energía eléctrica consideradas	24
Tabla 6.1.	Producción de electricidad de la hidroeléctrica <i>El Novillo</i>	36



Tabla 6.2.	Producción anual de leña combustible en el Estado de Sonora	36
Tabla 6.3.	Leña usada como insumo en producción de carbón vegetal en Sonora	37
Tabla 6.4.	Importaciones de gas natural por tipo de importación en Sonora	37
Tabla 6.5.	Producción anual de carbón antracítico	38
Tabla 6.6.	Principales centrales eléctricas en Sonora	39
Tabla 6.7.	Generación bruta de energía eléctrica por planta en MWh	39
Tabla 6.8.	Permisos otorgados para autogeneración e importación	39
Tabla 6.9.	Energía eléctrica importada y generada por auto-abastecedores	40
Tabla 6.10.	Entrada de diesel y combustóleo al sector eléctrico	41
Tabla 6.11.	Entradas de gas natural al sector eléctrico	41
Tabla 6.12.	Consumos de electricidad del sector eléctrico	41
Tabla 6.13.	Cantidad de petrolíferos que entran al Estado de Sonora provenientes de refinerías nacionales	42
Tabla 6.14.	Importaciones internacionales de petrolíferos al Estado de Sonora	42
Tabla 6.15.	Importaciones de Gas LP a Sonora	42
Tabla 6.16.	Permisos para la explotación de carbón vegetal	43
Tabla 6.17.	Producción de carbón vegetal en Sonora	43
Tabla 6.18.	Consumo de gas natural en Sonora	44
Tabla 6.19.	Consumo de energía eléctrica por sector en el Estado de Sonora	45
Tabla 6.20.	Consumo de gasolina en Sonora	45
Tabla 6.21.	Consumo de diesel en el Estado de Sonora	45
Tabla 6.22.	Consumo de turbosina en el Estado de Sonora	46
Tabla 6.23.	Consumo de gas LP por sector en Sonora	47
Tabla 6.24.	Consumo de leña en Sonora	47
Tabla 6.25.	Consumo de carbón vegetal en Sonora	47
Tabla 6.26.	Consumo de coque de petróleo de la industria en Sonora	48
Tabla 6.27.	Consumo de coque de carbón en Sonora	48
Tabla 6.28.	Poderes caloríficos netos usados en el balance energético	49
Tabla 6.29.	Producción de energía primaria en Sonora	51

Tabla 6.30.	Oferta bruta de energía primaria en Sonora	52
Tabla 6.31.	Producción total y pérdidas por transformación en centrales eléctricas	53
Tabla 6.32.	Producción total y pérdidas por transformación en carboneras	53
Tabla 6.33.	Exportación de electricidad	54
Tabla 6.34.	Oferta bruta de energía secundaria en Sonora	54
Tabla 6.35.	Consumo energético final en el Estado de Sonora	55
Tabla 6.36.	Consumos totales por sector en Sonora	58
Tabla 6.37.	Indicadores globales	59
Tabla 6.38.	Indicadores en energía para el sistema energético de Sonora en el 2009	61
Tabla 6.39.	Indicadores en energía para el sector eléctrico	63
Tabla 6.40.	Indicadores en energía con la propuesta 1	64
Tabla 6.41.	Indicadores en energía del sistema eléctrico con producción termosolar igual a la producción por termoeléctrica	65
Tabla 6.42.	Indicadores en energía de la propuesta 2	66
Tabla 6.43.	Indicadores en energía de la propuesta 2 con producción eólica igual a la producción por termoeléctrica	67
Tabla 7.1.	Variaciones porcentuales de las importaciones de gas natural en Sonora	68
Tabla 7.2.	Variaciones porcentuales del consumo de combustóleo en Sonora	68
Tabla 7.3.	Variaciones porcentuales del consumo de gasolina y diesel en Sonora	69
Tabla 7.4.	Comparación entre el consumo energético nacional y estatal, año 2008	69
Tabla A7.1.	Serie de datos obtenidos de la CONAFOR para la producción de carbón vegetal	102
Tabla A7.2.	Producciones de carbón vegetal estimadas	103

## I. Introducción

La planificación energética sustentable exige un conocimiento a fondo de la situación actual del sistema que se vaya a estudiar y prospectar. En el caso del Estado de Sonora nunca ha existido un estudio de este tipo que haya sentado las bases para la planeación, en gran medida debido a que las políticas energéticas en México hasta el momento han sido dirigidas casi completamente a nivel federal sin contemplación de las necesidades locales lo que ha derivado en dependencias altamente centralizadas, como lo son Petróleos Mexicanos (PEMEX) y las Comisión Federal de Electricidad (CFE), y en una planificación parcializada del sector energético que no contempla objetivos comunes.

El Estado de Sonora, desde el 2008, es una de las primeras entidades de la República Mexicana que cuenta con un marco normativo sólido para la planeación energética estatal imitando iniciativas ya consolidadas como el caso de Guanajuato y Michoacán, hecho que demuestra que los estados han comprendido que la planeación energética nacional debe ser resultado de una política integral que contemple los potenciales y las necesidades regionales. El balance energético de base para Sonora que se presenta en este trabajo es un intento por comenzar los cimientos de una futura planificación sustentable del sector energético regional como parte de una red nacional, pero con sus propios problemas y potenciales.

Por otro lado, la característica multi-conceptual del término *sustentabilidad* que lo definen, como un ideal de desarrollo y que combina tanto objetivos ambientales como económicos y sociales siempre ha generado una dificultad para su valoración en un proceso o sistema. Una propuesta para enfrentar este problema es incluida en este trabajo.

La evaluación en *energía* (escrita con m) fue desarrollada por el ecologista Howard T. Odum (1924-2002) y es una contabilidad de toda la energía solar necesaria tanto directa como indirecta para la generación de un proceso o un servicio, lo que da una valoración completa del impacto ambiental y económico que se produce. A partir de esta evaluación se generan indicadores en *energía* que son utilizados para describir el objeto de estudio y medir su sustentabilidad. En este trabajo se presenta al mismo tiempo una herramienta gráfica que permite presentar de forma abreviada los resultados de la evaluación en energía y hacer más sencilla la comparación entre sistemas diferentes, en el presente documento la nombramos *diagrama ternario en energía* o, como la llaman sus creadores de la UNIP en Sao Paulo, *SIMERGIA*.

Este reporte escrito se divide en secciones que serán identificadas con números romanos. Las secciones II y III contemplan el objetivo general o estratégico y los objetivos

específicos que guiaron la investigación. En la sección IV se presenta el análisis literario que sirvió de marco para el desarrollo del trabajo. La sección V describe la metodología seguida para el tratamiento de la información y describe los instrumentos utilizados: el esquema general del balance energético de base, la evaluación en emergía y el diagrama ternario. El detalle de los resultados obtenidos se muestra en la sección VI dividido en tres grandes sub-secciones: una explicación general del sistema energético sonoreNSE, el balance energético consolidado con gráficas de descripción, y las evaluaciones en emergía con las representaciones correspondientes en el diagrama ternario.

Por último, en las secciones VII, VIII, y IX se presentan respectivamente las implicaciones de los resultados, las conclusiones del trabajo y las recomendaciones para futuras investigaciones basadas en los resultados de este estudio.

## **II. Objetivo estratégico**

*Contribuir* a un entendimiento de los flujos de energía en el Estado de Sonora que sirva de base para una planificación sustentable del sistema energético sonorense.

## **III. Objetivos específicos**

- *Analizar* la literatura disponible acerca de metodologías utilizadas en el desarrollo de un balance energético y sus posibles usos desde la perspectiva del Desarrollo Sustentable.
- *Obtener* la información sobre demanda, transformación y producción de energía para el desarrollo del balance energético en el Estado de Sonora.
- *Llevar* a cabo un balance energético del Estado en el formato propuesto por instituciones energéticas internacionales.
- *Proponer* nuevas líneas de investigación con base en los resultados obtenidos y en el marco del Desarrollo Sustentable.

## IV. Análisis literario

### 4.1 Situación energética global

La conquista que ha hecho el hombre de las formas de energía que existen en la naturaleza ha sido uno de los hitos más importantes del desarrollo humano ya que la vida como la conocemos sería imposible sin un apropiado aporte energético (Álvarez y Sánchez, 2005). Hirsch (2005) afirma que la energía es la base de la economía mundial y el dinamismo que la caracteriza se debe en gran medida a la contribución energética que nos proporcionan principalmente los combustibles fósiles, es decir el petróleo, el gas natural y el carbón mineral.

Según Odum (2006), en un futuro a mediano plazo nos espera una vida de menor intensidad energética a la actual debido a que una parte importante del escenario económico en el que se desarrolla la humanidad es que las fuentes fósiles de energía no son renovables y no existen fuentes primarias conocidas con capacidad de potencia similar.

Los hidrocarburos y el carbón mineral han representado desde 1973 hasta la fecha el 80% del origen de la energía utilizada por los seres humanos (Agencia Internacional de Energía, AIE, 2009). Las fuentes energéticas que abastecen al grueso de la humanidad no se han diversificado en poco más de un siglo debido a que el petróleo y el gas bajos en costo han dominado la oferta energética primaria desde mediados del siglo pasado (Exxon Mobil, 2010).

De acuerdo a Gil (2008) el petróleo es un caso claro de los límites de crecimiento a los que se refería El Club de Roma en su primer reporte de 1972 pues al inicio de su explotación comercial éste se encontraba cerca de la superficie terrestre y hoy se explota en muchos países en las zonas marítimas, cada vez a mayor profundidad y con mayor cantidad de agua.

Aunque el punto máximo de producción de petróleo (pico del petróleo) no significa el final del mismo, sí marca un punto de inflexión en su precio de mercado, como sucedió en junio del 2008 cuando el barril de petróleo crudo alcanzó un precio de 114 dólares produciendo un efecto a nivel mundial que no se había repetido desde la crisis energética de principios de la década de los setenta durante el embargo de petróleo promovido por la Organización de Países Exportadores de Petróleo, OPEP (Tverberg, 2008).

La ubicación en el tiempo del punto máximo de producción de petróleo a nivel global es un tema de gran polémica entre los que estudian el tema. Las previsiones más optimistas, provenientes en su mayoría de empresas petroleras, lo marcan después del 2020, mientras que las más pesimistas, como la ASPO (*The Association for the Study of Peak Oil and Gas*), aseguran que ya lo hemos rebasado desde el 2006 (Hirsch, 2005).

Somoza (2003) afirma que hay desconfianza en que se presente un milagro tecnológico que garantice la demanda de 120 millones de barriles diarios para el 2020 como conclusión del análisis estadístico de los descubrimientos de hidrocarburos en los últimos 20 años que indican que la brecha entre los resultados exploratorios y el incremento de la demanda es creciente.

La escasez energética es casi inminente en el futuro y se encuentra profundamente ligada con la sustentabilidad de las comunidades actuales (Odum, 2006). Diamond (2005) la enlista entre los factores que pueden contribuir al debilitamiento o el colapso de las sociedades modernas; además agrega en la misma lista el cambio climático antropogénico que según los reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007) se debe en buena parte a las emisiones de dióxido de carbono que generan las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles.

Si bien no existe un consenso general sobre las causas del calentamiento global (Christy, 2005), la teoría de que las emisiones de CO<sub>2</sub> son las causantes del aumento en la temperatura es la más aceptada a nivel internacional y ha derivado en una fuerte movilización política que ha generado un debate energético en todo el mundo (Capra, 2003).

Todo lo convenido en los acuerdos internacionales para la mitigación del calentamiento global, principalmente en las convenciones climáticas convocadas por la ONU, como el Protocolo de Kioto (acuerdo para la estabilización de la emisión de gases de efecto invernadero) afecta directamente en la utilización de hidrocarburos y carbón en la producción de energía (Lebre, 2002).

Lo anterior aunado a la escasez de petróleo que se avecina ha traído como consecuencia una intensificación en la investigación de opciones de energía a partir de fuentes renovables como la energía geotérmica, solar, eólica, nuclear, entre otras, aunque su crecimiento a gran escala se ha visto dificultado porque todavía se les imputa su baja potencia en comparación con el petróleo, el carbón o el gas natural, además de su poca competitividad en el mercado (Noim, et al., 2008).

La ventaja más importante que representan las energías renovables frente a la utilización de los combustibles fósiles, además de su bajo impacto ambiental, es la oportunidad de independizar las políticas energéticas locales del mercado global basado en su mayoría en la supremacía del petróleo (Verdesio, 2003).

Para Sheinbaum, et al. (2009) el tema energético es un apartado fundamental del debate sobre el desarrollo sustentable pues la disponibilidad de recursos energéticos es indispensable para resolver la pobreza y mejorar las condiciones de vida. Por otro lado la explotación de recursos energéticos resulta en la mayor parte de los impactos ambientales locales y globales que producen las sociedades actuales (Leff, 2007) en un mundo en el que todavía no se aprende a sobrevivir a partir de fuentes renovables de energía (Capra, 2003).

#### **4.2 Planificación energética y desarrollo sustentable**

El objetivo de una planificación energética es cumplir con la demanda de energía en el futuro y para esto debe tomar en cuenta consideraciones políticas, sociales y ambientales además de los datos históricos colectados en planes energéticos previos acerca de la oferta y la demanda de energía en la región o país que se examina (Dicorato, 2003).

Según Gil (2008) es necesario enfatizar la prospectiva y la visión global con un horizonte de largo plazo para afrontar el desafío energético mundial que se formula en los siguientes términos: para alcanzar la sustentabilidad de la humanidad es necesario incrementar el consumo de los pobres del mundo y al mismo tiempo reducir la huella ecológica humana total.

Para Somoza (2003) existe un consenso entre los especialistas en los temas de economía energética y entre los formuladores de políticas en ese campo en concebir la planificación energética como un fuerte eslabón en la promoción de una mayor sustentabilidad del desarrollo socio-económico. Para el mismo autor el proceso de diseño de una política energética gira en torno a la respuesta a tres preguntas claves: *de qué se parte, a qué se aspira y cómo actuar.*

La planificación energética empezó a generalizarse en occidente a partir de la crisis petrolera de 1970 cuando se perdió la estabilidad que daba la seguridad del suministro de petróleo al afrontar el embargo de la OPEP y el pico en la producción petrolera de Estados Unidos (Allen, 2004), es en este momento cuando comenzaron a producirse fuertes desarrollos metodológicos en la planeación energética que superaron el enfoque



tradicional que se basaba en indicadores sencillos como la tasa de crecimiento, el consumo per-cápita o la intensidad energética sin considerar las relaciones sociales ni ambientales involucradas (Rodríguez, 2000).

Dentro de esta nueva forma de ver la planeación energética la previsión de la demanda de energía (*energy demand forecasting*) se convirtió en un componente esencial para la formulación de estrategias y para ese fin han surgido una gran variedad de modelos (Dicorato, 2003).

Esta tarea es un reto especialmente para los países en vías de desarrollo donde la información necesaria, los modelos apropiados y las instituciones requeridas son escasas, además de que los modelos comúnmente utilizados normalmente están ajustados a las necesidades de los países industrializados las cuales no siempre encajan con las de un país en desarrollo (Bhattacharyya y Timilsina, 2009).

Oliveira y Girod (1990) exponen que los modelos de demanda energética surgidos en la primera crisis del petróleo consideran múltiples variables físicas, económicas, técnicas, financieras, sociales y ambientales viendo el sistema energético como un todo y haciendo énfasis en la planeación a largo plazo dejando atrás la visión unidimensional y cortoplacista del enfoque tradicional previo a 1970.

Los objetivos fundamentales que deben guiar una planeación energética sustentable, según Bertinat (2007), son los siguientes:

- Desarrollar un balance energético integral del sistema y analizar su metabolismo desde ese punto de vista.
- Impulsar la mejora socio-ambiental por medio del fomento en la eficiencia energética y las energías renovables.
- Planificar la oferta y la demanda energética del sistema a largo plazo.
- Garantizar el acceso a los bienes energéticos al conjunto de la población, en condiciones dignas y priorizando a los sectores más vulnerables.
- Impulsar la introducción de la dimensión energética en la planificación financiera, social, política, etc.
- Constituir al gobierno como un ejemplo en adopción de medidas de eficiencia energética y energías renovables.

#### 4.2.1 Modelos de demanda energética

La clasificación de los modelos de demanda energética varía según los autores siendo la clasificación más generalizada la conocida como *top-down* y *bottom-up*, donde los modelos en la primera categoría enfatizan la amplitud del sistema económico en el que se insertan los flujos energéticos (en un análisis de arriba-abajo), mientras que los de la segunda se enfocan en los detalles tecnológicos y sectoriales (en un análisis abajo-arriba) (Böhringer y Rutherford, 2006).

De acuerdo a la descripción de Bazán y Ortiz (2010), los modelos *top-down* utilizan datos económicos agregados; evalúan costo/beneficio a través de impacto en producción y el PIB; generalmente asumen eficiencia del mercado; capturan retroalimentación e interacciones intersectoriales (sectores externos al energético) y no se basan en un enfoque adecuado para examinar políticas tecnológicas específicas. Según los mismos autores, los modelos *bottom-up* utilizan datos detallados en combustibles; evalúan costo/beneficio de tecnologías y políticas individuales; no necesariamente asumen eficiencia de mercado; capturan interacciones entre proyectos y políticas y se utilizan para evaluar costos y beneficios de programas específicos.

Bhattacharyya y Timilsina (2009), proponen una clasificación de los modelos basada en la filosofía propia de su método: los *econométricos*, los *ingenieriles* o enfocados al usuario final (*end-use*), los de *entrada-salida* y los de *escenarios*.

Según Álvarez y Sánchez (2005) los principales modelos utilizados en la actualidad en América, Europa y Asia son: Market Allocation Model (MARKAL), Long-Range Energy Alternatives Planning (LEAP) y System for the Analysis of Global Energy (SAGE); mientras que Dicorato (2007) y Yang (2003) enfatizan el uso de Energy Flows Optimization Model (EFOM) en Europa y Asia, respectivamente.

A continuación se mencionan y se describen brevemente algunos de los modelos *bottom-up* que son los más destacados (Bazán y Ortiz, 2010, Dicorato, 2007, Somoza, 2003, Álvarez y Sánchez, 2005) para previsión de la demanda energética en la planeación contemporánea:

- MARKAL es un acrónimo de Market Allocation Model y es un modelo *bottom-up* dentro de los modelos de optimización de enfoque ingenieril. MARKAL trata de averiguar las tendencias en la oferta y la demanda energética de una región partiendo de un escenario o caso de referencia sobre el cual se van construyendo casos alternativos al introducir variables externas: cambios tecnológicos,

financieros, regulatorios, ambientales, etcétera (Dicorato, 2003; Álvarez y Sánchez, 2005, y Johnson, 2004).

En resumen MARKAL sigue cuatro pasos para su construcción: *primero*, la definición de un sistema energético de referencia que representa el sistema energético completo de la región o nación; *segundo*, la definición de las condiciones actuales del sistema, su capacidad de expansión y los posibles cambios de tecnología que se podrían dar en el periodo de análisis; *tercero*, la definición de escenarios posibles a partir de lo que se conoce como árbol de eventos, y *cuarto*, la elección del mejor escenario posible (Johnson, 2004).

- LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning Model) es también un modelo *bottom-up* que permite un modelaje flexible ante problemas particulares y diferentes niveles geográficos (regional, nacional o global). Es un modelo integrador que cubre ambos lados de la cadena energética: la demanda y la oferta. El modelo sigue el marco de la contabilidad para generar una visión consistente de la demanda y la oferta energética y se apoya en la metodología de escenarios para desarrollar una historia plausible de los posibles patrones de evolución del sistema energético. Este modelo no busca optimizar o simular el mercado energético sino que analiza las implicaciones de los posibles comportamientos alternativos de la oferta y la demanda (Bhattacharyya y Timilsina, 2009).

LEAP es una herramienta para estudios energético-ambientales basados en, escenarios e involucra la realización de una prospectiva energética (*forecasting*), la planeación integrada de recursos (análisis tanto de la oferta como de la demanda), el análisis de la política energética y la realización de balances energéticos, todo con el objetivo principal de brindar un soporte confiable para la toma de decisiones (Bazán y Ortiz, 2010).

- EFOM es un acrónimo para Energy Flow Optimisation Model y es un modelo *bottom-up* ampliamente usado en la Unión Europea y otros países de Asia. Es una herramienta de optimización del sistema energético basada en multi-periodos y en una programación lineal. El modelo puede ser usado para analizar un sector específico (*single-sector*) o para un sistema energético completo (*multi-sector*) (Yang, 2003).

El modelo EFOM describe el sistema energético como una red de flujos de energía combinando la extracción de fuentes primarias, el número de conversiones y las tecnologías de transporte hasta la demanda final, además siendo un modelo con

enfoque en el uso final de la energía también es rico en la consideración de ambos tipos de tecnología en la cadena energética: las de generación y las de consumo (Dicorato, 2003).

Para aumentar la capacidad ambiental del modelo éste fue modificado en una nueva versión llamada EFOM-ENV que se somete a consideraciones técnicas, ambientales y políticas con una descripción detallada de las tecnologías involucradas en el proceso de generación-consumo (Spitz, 2009).

### **4.3 Balance energético**

La presentación estadística confiable, detallada y completa es esencial para el seguimiento de la situación energética a nivel regional, nacional o internacional (AIE, 2004).

Independientemente del método o modelo utilizado para la planeación energética, un paso importante y que asume una observación cuidadosa de todos los fenómenos involucrados en la oferta y la demanda de energía es la realización de un estudio preliminar del sistema energético en análisis (Dicorato, 2003).

Una manera de identificar las tendencias actuales en el comportamiento de la oferta y la demanda de energía es el desarrollo de una representación de los flujos en el sector energético llamado *balance de energía* que muestra, por medio de una lógica de cálculo propia del reporte, un sistema energético equilibrado. El objetivo es identificar la dinámica del equilibrio entre oferta y demanda utilizando los datos del flujo energético en un determinado espacio de tiempo (Oliveira y Girod, 1990).

Un balance de energía provee una representación simple de un sistema energético utilizando las ideas básicas de la contabilidad y es uno de los marcos básicos para el análisis de sistemas energéticos, es una herramienta que se ha utilizado desde la década de los cincuenta en los Estados Unidos y sigue formando parte esencial de la planificación energética en la actualidad, principalmente en los modelos con enfoque econométrico (Bhattacharyya y Timilsina, 2009).

Para el INEGI (2005), el balance de energía es un punto de partida para la construcción de indicadores de consumo. El balance energético representa el flujo desde el suministro de energía, la transformación a energías secundarias, y la demanda final, por sector y por tipo de energía, para con esta información poder hacer un seguimiento de las necesidades energéticas en una región (Adams y Shachmurove, 2007).

Bazán y Ortiz (2010) describen el sistema energético en general y las partes que componen ese sistema como: *demanda*, que en el balance se detalla por sector, subsector, usos finales y equipamientos; *transformación*, donde se hace una evaluación detallada de las estructuras para la generación de energía secundaria, como refinerías, plantas de electricidad, etcétera; y *oferta de energía primaria*, representación simple de recursos renovables y no renovables que se utilizan como suministro.

#### 4.3.1 Metodologías para la elaboración de un balance energético

El Instituto de Economía Energética de la Fundación Bariloche, de Argentina, (IDEE/FB, 2009) define en su manual sobre Balances Energéticos dos tipos de balances:

- Balance energético de base
- Balance energético integral

Según la fuente citada el *balance energético de base* contabiliza los flujos energéticos desde la producción de las fuentes primarias hasta el consumo final de energía en los sectores socioeconómicos, y es el que elaboran regularmente la mayoría de los países, además existen intentos de estandarización de conceptos en este tipo de balances por parte de agencias internacionales como la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la AIE y la oficina de estadística europea (Eurostat). Asimismo, el *balance energético integral*, que es una propuesta de la misma Fundación Bariloche, agrega al *balance energético de base* otras matrices en cada extremo del sistema, del lado de la oferta: el *balance de reservas y potenciales de energía primaria*; del lado de la demanda: los *consumos de energía neta por tipo de uso* y los *consumos de energía útil por fuente y tipo de uso*. Según la IDEE/FB, este último tipo de balance pretende ser un instrumento estructurado de manera lógica para cubrir todo el sistema energético. En este trabajo se estudiará la realización de un balance energético de base por lo que se hará referencia a él como balance energético.

La OLADE (2004) afirma en su metodología para balances de energía que existen dos tipos de enfoques para realizar un balance energético (de base), uno el que analiza el pasado observando la oferta de las distintas fuentes de energía y determinado después la forma en la que ha sido utilizada cada una de ellas, siendo éste un balance energético *descendente* porque empieza por la oferta, el sector transformación y termina con la demanda.

La misma fuente define el balance energético *ascendente* como una evaluación del futuro, en este caso con una proyección de la demanda de energía futura se calcula la oferta necesaria tomando en este caso la forma inversa: primero el consumo, el sector transformación y al final la oferta.

Adams y Shachmurove (2007), utilizan el balance de energía en ambas formas, primero para tener una referencia de la dinámica energética en el pasado reciente y después para proyectar el consumo de energía en el futuro y proponer un valor de oferta energética.

En el balance de energía, la información se reporta en una unidad común y todos los productos se agregan por categoría: carbón, petróleo, derivados de petróleo, gas, biomasa, etcétera, esto permite la comparación entre la importancia que tiene cierta fuente de energía para determinado sector o actividad económica (AIE, 2004).

En un marco de referencia internacional, los balances energéticos no tienen una presentación única, sin embargo, independientemente de cualquier método que se utilice se debe presentar una estructura contable coherente con una definición inequívoca de las variables utilizadas (Ministerio de Energía de Perú, 2008).

En la construcción de un balance energético primero se obtienen los valores de las fuentes de energía primaria, secundaria y de sus consumos en las unidades naturales propias del tipo de fuente o consumo que se trate, por ejemplo, el petróleo en barriles por unidad de tiempo. Una vez obtenidos estos datos deben establecerse factores de conversión para obtener una unidad uniforme a lo largo del balance que permita su contabilidad (Secretaría Nacional de Energía, SENER, 2009d).

La AIE (2004) recomienda presentar el balance en toneladas de petróleo equivalente, pero aclara que muchos países, entre ellos México, utilizan el terajoule como medida estándar para sus balances nacionales.

La SENER (2009), como ya se mencionó, utiliza el joule como unidad común basándose en lo que expresa la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, sin embargo, el balance nacional de energía se presenta a su vez en términos de petróleo crudo equivalente, una unidad muy parecida a la recomendada por la AIE.

Para la AIE (2004) la elección más importante en la realización de un balance energético es el método para calcular la energía primaria equivalente para todas las formas de energía que se analizarán en el mismo. La organización contempla dos métodos: el de sustitución parcial y el de contenido energético físico.

La misma fuente explica ambos métodos, el de sustitución parcial es un enfoque que fue utilizado en los primeros días de la producción eléctrica a nivel internacional y que asumía

la producción eléctrica de cualquier tipo igual a la cantidad de combustible requerido para generar una cantidad de electricidad similar a la considerada, lo que ayudaba en una producción eléctrica basada en combustibles fósiles.

El método de contenido energético físico, que exponen la AIE en la misma fuente y también la SENER (2009d), toma en cuenta la cantidad de calor que se produce en la combustión, excluyendo el calor no recuperable; equivale al calor del proceso de combustión que se aprovecha en la práctica, esta cantidad también se conoce como poder calorífico neto.

En su descripción general de un balance energético la OLADE (2004) explica que éste se presenta en forma matricial, y está conformado por las *columnas*, que representan las fuentes energéticas (primarias y secundarias), y por las *filas* que representan las actividades, es decir los orígenes y los destinos o consumos de la energía. Esta es la forma en la que presenta el balance nacional de energía la SENER (2009d) en su reporte anual, las fuentes de energía en las columnas y los procesos que conforman la oferta, la transformación y el consumo final en las filas.

Por energía primaria se entienden las distintas fuentes de energía que tal como se obtienen en la naturaleza, ya sea de forma directa (energía hidráulica, solar, la leña, el viento) o después de un proceso de extracción (petróleo, carbón mineral, la geoenergía, el gas natural), estas fuentes de energía se clasifican en renovables y no renovables (Derakhshan, 2008).

Las energías secundarias son los diferentes productos energéticos que provienen de los distintos centros de transformación y cuyo destino son los diversos sectores de consumo u otros centros de transformación, entre este tipo de fuentes de energía se encuentran: la electricidad, el gas LP, gasolina, diesel, etcétera (Adams y Shachmurove, 2007).

#### **4.4 Planificación energética en México**

La dependencia de México al petróleo se expresa en sus finanzas públicas y en las estadísticas energéticas del país. El 34.66% del presupuesto público del estado mexicano en el sexenio anterior (2000-2006) provino de los ingresos petroleros por importación (Moreno, 2006) y el 91.3% de la producción de energía primaria en el país hasta el 2008 es de fuentes de energía fósil, ya sea petróleo, gas natural o carbón. Los hidrocarburos (petróleo y gas natural) representan el 89.1% y el carbón mineral el 2.2% según datos del balance energético nacional del 2008 (SENER, 2009d).

Según datos oficiales el pico de producción de petróleo se alcanzó en el 2004 y desde esa fecha al 2009 la tasa de producción ha caído a un ritmo de 5.1% anual (SENER, 2010), lo que ha dado pie a proyecciones desde las más pesimistas que hablan de una duración de menos de 10 años del crudo mexicano hasta las más optimistas que dan un rango de hasta 15 años (Rodríguez, 2007 y Barbosa y Domínguez, 2006).

Para Rodríguez (2000) el modelo que ha prevalecido en México para el funcionamiento de la industria de la energía ha sido el monopolio público nacional integrado verticalmente, que se explica por razones históricas, técnicas y económicas. Para el mismo autor, la planeación en México es vertical y de arriba hacia abajo, de la oferta a la demanda y los enfoques *bottom-up* (de la demanda a la oferta) están excluidos.

Según Sheinbaum, et al. (2009), las administraciones federales mexicanas desde 1982 hasta la fecha han buscado solucionar los problemas del sector energético mediante cinco grandes líneas de política energética: mayor apertura a la iniciativa privada en el sector, promoción del gas natural, concentración de los recursos públicos en la extracción de petróleo crudo, utilización de PEMEX y de la CFE como instrumentos al servicio de las políticas de estabilidad macroeconómica y la búsqueda de la seguridad energética ya no en el ámbito nacional sino en un marco regional.

Para Cárdenas (2008) en México se debe realizar una planeación de largo plazo que tienda al óptimo nacional, integrando todos los componentes: recursos naturales, oferta energética en todas sus formas y acciones para racionalizar el consumo y aprovechamiento

#### **4.5. Evaluación de la sustentabilidad**

Los indicadores en sustentabilidad aumentan diariamente y eso es un reflejo de los intentos de sintetizar los tres grandes sistemas complejos que involucra el concepto: medio ambiente, economía y sociedad (Tiezzi, 2008). Según el Departamento de las Naciones Unidas para la Coordinación de Políticas en Desarrollo Sustentable (DESA/DSD, 2007), los indicadores en sustentabilidad deben ser como sigue:

- Fundamentados en *bases científicas* reconocidas por la comunidad internacional.
- *Relevantes*, deben cubrir todos los aspectos cruciales para el desarrollo sustentable.
- *Transparentes*, deben de ser obvios hasta para los no expertos.



- *Cuantificables*, deben estar basados en información disponible o fácil de obtener.
- *Limitados en número*, deben de ser los suficientes para evaluar un sistema pero no demasiados como para dificultar su comunicación.

Entre los indicadores desarrollados para afrontar la evaluación de la sustentabilidad citados por Tiezzi (2008) se encuentran *el uso sustentable de la tierra, la calidad del aire local, el transporte escolar, la contribución local al cambio climático, la satisfacción del ciudadano con el contexto local, el ruido, etcétera*. Según el mismo autor, estos indicadores y muchos otros han sido utilizados por organizaciones internacionales, como la Comunidad Europea y la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), para evaluar la sustentabilidad en sus países miembros.

La sustentabilidad se ha convertido en un tema vital para las sociedades modernas, y al plantearse un análisis integral de los sistemas se incluyen entradas tan disímiles como energía, material, trabajo humano y dinero, lo que ha provocado que cuando se habla de sustentabilidad los indicadores tiendan a ser demasiados (Cao y Feng, 2007).

Para superar estos problemas (la enorme cantidad de indicadores para describir un sistema y la imposibilidad de comparar entradas disímiles), Odum (1995) propone la evaluación en *energía* (escrita con m) también conocida como "memoria energética".

Tiezzi (2008) define la *energía* como la cantidad de energía solar directa o indirecta que es necesaria para obtener algún producto por cierto tipo de proceso, y la evaluación en *energía* es el procedimiento por el que se contabiliza la memoria energética de algún producto o servicio en específico.

Odum (1995), desarrolló una metodología para la evaluación en *energía* de productos y servicios que se explica con más detalle en el Anexo 4. Esta metodología incluye el desarrollo de diagramas de *energía* para los sistemas en estudio con el fin de detallar los flujos energéticos involucrados directa e indirectamente en ellos. Posteriormente, con la ayuda de factores de conversión llamados "transformidades" se realiza la conversión de los valores de *energía*, dinero o masa a los valores en unidades de *energía solar equivalente* o *energía*.

Para el análisis de sistemas de *energía*, Brown y Ulgiati (2002) proponen los siguientes indicadores en *energía*, donde Y es el valor en *energía* del producto o servicio, R es la cantidad en *energía* de los recursos renovables agregados al sistema (y obtenidos del medio ambiente local), N es la cantidad en *energía* de los recursos no renovables agregados al sistema (y obtenidos del medio ambiente local) y F es la cantidad de

recursos obtenidos de la economía (comprados) que se agregan al sistema, todos estos recursos afectan el sistema tanto directa como indirectamente:

- Rendimiento en energía,  $EYR = Y/F = (F + R + N)/F$
- Índice de carga ambiental,  $ELR = (F + N)/R$
- Índice de sustentabilidad en energía,  $EIS = EYR/ELR$
- Densidad de *empotencia*,  $ED = (F + R + N)/\text{área}$
- Porcentaje de renovables,  $\%R = R/(F + R + N)$

Giannetti, et al (2006), propone una forma de representar gráficamente los indicadores en energía para su mejor comunicación especialmente cuando se trata de toma de decisiones, por ejemplo, en el área de planeación energética. Este diagrama permite una visualización inmediata de los resultados en energía, hace posible comparar procesos y sistemas, evaluar mejoras y seguir el desempeño del sistema a través del tiempo.

## V. Metodología

### 5.1 Tipo de investigación

La investigación realizada es cuantitativa y se basa en los datos estadísticos disponibles sobre el sistema energético del Estado de Sonora llevando a cabo una observación descriptiva lo más detallada posible para después realizar una evaluación cuantitativa de la sustentabilidad del mismo a través de indicadores en energía.

La observación se centró en los aspectos para la representación de un sistema energético que se repitieron con más frecuencia en la literatura sobre el tema, que a grandes rasgos son: la demanda, la transformación y la producción (primaria y secundaria) de energía.

### 5.2 Diseño utilizado

El diseño es no experimental, de tipo longitudinal y de tendencia. A continuación se explican estas características en base a la teoría de Hernández Sampieri, et al. (1998).

El diseño utilizado es *no experimental* porque no se busca alterar las variables del fenómeno de estudio. La investigación está basada en la observación pura de los conceptos involucrados en su contexto natural para, sin influir directamente, llegar a conclusiones sobre ellos.

El diseño, además, es longitudinal porque el interés de la investigación es analizar los cambios a través del tiempo de determinadas variables y las relaciones entre éstas. El diseño longitudinal recolecta datos a través del tiempo en puntos o períodos específicos, para después hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias.

También es de tendencia porque se orienta a estudiar los cambios que se producen en determinado fenómeno a través del tiempo siguiendo las transformaciones de ciertas variables seleccionadas. El diseño de la presente investigación se puede representar de la siguiente manera:

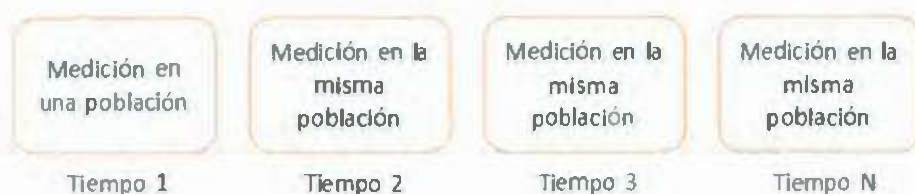


Figura 5.1. Diseño del estudio

### 5.3 Objeto de estudio y alcances

El objeto del estudio es el sistema energético del Estado de Sonora. Las limitaciones del estudio estarán dadas por la disponibilidad de información acerca de las características de demanda, transformación y producción (o importación) de energía por parte de las entidades públicas y privadas encargadas de este sector en la entidad.

El alcance buscado por este estudio es dar una pauta para la modelación detallada del sistema energético del estado para, en futuras investigaciones, lograr un fundamento más sólido para la planeación energética. La información histórico-estadística abarca del año 2005 al 2009 y se realizarán propuestas de iniciativas energéticas con la ayuda de indicadores en energía y el diagrama ternario desarrollado por Giannetti, et al. (2004) en la Universidad Paulista (UNIP).

### 5.4 Instrumentos de recolección y manejo de datos

#### 5.4.1 Metodología para el Balance de Energía

La metodología aquí expuesta está basada en la descripción que realiza el Instituto de Economía Energética de la Fundación Bariloche (IDEE/FB) en su manual para balances energéticos de junio del 2009 (basada en la metodología de la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE), así como en la presentada por la AIE en su documento del 2004. Se debe hacer énfasis en que el balance realizado es un balance energético de base, no un balance energético integral, la diferencia entre ambos se describe a detalle en el Anexo 2.

Antes de hacer un balance de energía consolidado y estandarizado se hacen balances de mercancías energéticas, éstos son expresados en las unidades naturales propias de cada mercancía, incluso pueden ser reportados en base a unidades de dinero. Este primer paso sirve para conocer qué tan completa es la información disponible y la estadística principal de cada mercancía y de esa forma obtener los datos claves fácilmente. En la figura 2 este paso se representa en el recuadro "*balance de mercancía*".

Debido a que muchos combustibles pueden ser convertidos en diferentes formas de energía, el siguiente paso será cambiar las unidades de las estadísticas presentadas en los balances de mercancías a unidades de energía para de esta forma poder observar discrepancias graves como una aparente ganancia o altas pérdidas de energía. En el

seguimiento de pasos que se muestra en la figura 2, el símbolo de multiplicación y los factores de conversión representan este paso.

Una vez cambiados los datos a unidades de energía (en este caso petajoules, PJ) el siguiente paso es presentar la información en un formato claro que muestre los intercambios de energía desde la fuente hasta la demanda pasando por las centrales de transformación, este formato es el balance de energía. El seguimiento de pasos para realizar un balance de energía se muestra en la figura 5.2.



Figura 5.2. Formación de un Balance de Energía.

El Balance Energético se presenta de forma matricial, en la figura 5.3 se muestra el esquema de la matriz general que cuenta con cuatro sub-matrices:

- a) Balance de Energía Primaria
- b) Centros de Transformación
- c) Balance de Energía Secundaria
- d) Consumo Final por Sectores

El diagrama de flujo de la energía según la metodología propuesta por la OLADE (2004) se muestra en la figura 5.4. El balance de la OLADE divide el sistema energético en los elementos que se muestran en la tabla 5.1 (solo se presentan los que fueron consideradas útiles para el análisis del sistema energético de Sonora).

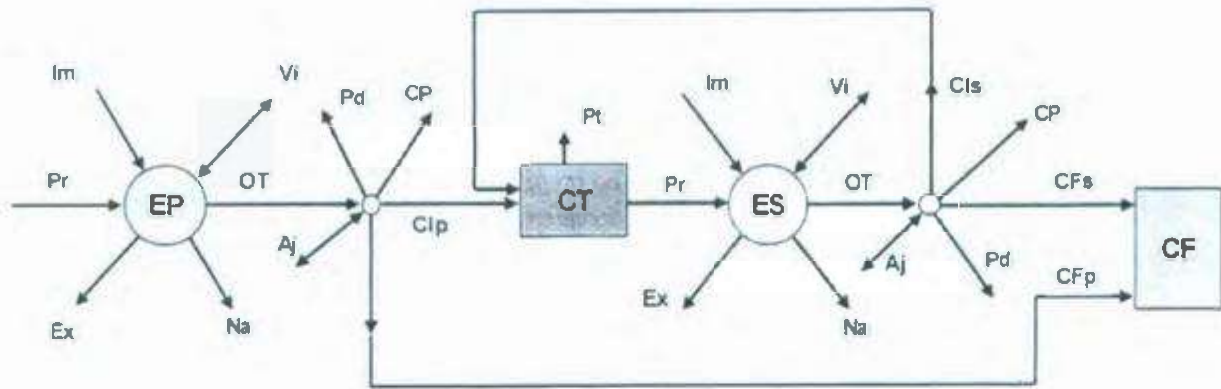
Fuentes energéticas (Columnas)	
Fuentes Primarias	Fuentes Secundarias
Hidroenergía Gas Natural Carbón Mineral (Antracita) Leña Total Primarias	Electricidad Gas Licuado de Petróleo (GLP) Gasolinas Turbosina Diesel (Gas Oil) Combustóleo (Fuel Oil) Carbón Vegetal Coques Total Secundarias

Conceptos del Balance (Filas)	
Balance de Energía Primaria y Secundaria	Centros de Transformación
Producción	Centrales Eléctricas
Importación	Autoproductores
Exportación	Carboneras
Variación de inventarios	Transformación total
No aprovechado	Consumo propio
Oferta total	Pérdidas
	Ajustes
Sectores de consumo	
Transporte	
Industria	
Residencial	
Comercial, Servicios y Público	
Agro, Pesca y Minería	
Construcción y otros	
Consumo no energético	
Consumo final	

Tabla 5.1. Elementos que contiene un balance energético (conceptos considerados relevantes para el caso del sistema sonorenses)

Fuentes Primarias		Fuentes Secundarias		Total
Balance de Energía Primaria	Total primaria	Balance de Energía Secundaria	Total secundaria	Total oferta
Centros de Transformación				Pérdidas
Consumo Final por Sectores				Consumo total

Figura 5.3. Esquema de la matriz general del Balance Energético



EP: Energía Primaria  
 ES: Energía Secundaria  
 CT: Centros de Transformación  
 Pt: Pérdidas de Transformación  
 CF: Sectores de Consumo Final

Pr: Producción  
 Im: Importación  
 Ex: Exportación  
 Vi: Variación de Inventario  
 OT: Oferta Total  
 Aj: Ajuste

Pd: Pérdidas de transporte, distribución y almacenamiento  
 CP: Consumo Propio  
 Clp: Consumo Intermedio E. Primaria  
 Cls: Consumo Intermedio E. Secundaria  
 CFp: Consumo Final E. Primaria  
 CFs: Consumo Final E. Secundaria

Figura 5.4. Diagrama de flujo de energía en el balance energético (IDEE/FB, 2009).

A continuación se dará una explicación muy general de las sub-matrices del balance, para conocer las ecuaciones exactas utilizadas en el balance éstas son explicadas a detalle en el Anexo 3. Del inciso a) al d) se describirán los componentes del balance y en el inciso e) se explicarán los indicadores globales calculados que se obtienen a partir de los resultados del balance y que serán utilizados en el estudio.

#### a) Balance de Energía Primaria

El balance de energía primaria refleja los flujos de las fuentes primarias, calculando la Oferta Total de cada fuente partiendo de su abastecimiento, y llegando al consumo de cada una. Para realizar el balance se realiza un cálculo de la Oferta Total desde la oferta, después desde la demanda y al final se realiza una operación de ajuste haciendo una diferencia entre ambas, que es la única condición de consistencia dentro del balance y que no debe sobrepasar el 5% del valor de la oferta.

#### b) Balance de Centros de Transformación

Este balance representa la actividad de las centrales de transformación que adaptan una forma de energía en otra más adecuada para los requerimientos de consumo. En los Centros de Transformación ingresan fuentes primarias y/o secundarias y se producen otras fuentes secundarias, ocurriendo pérdidas por transformación. Hay fuentes

que se obtienen luego de una segunda o tercera transformación, pero se les sigue llamando fuentes secundarias.

#### c) Balance de Energía Secundaria

Las ecuaciones para el balance de las fuentes secundarias son muy similares al de las fuentes primarias. Al igual que las primarias, se realiza un cálculo de Oferta Total desde la oferta y desde la demanda, para después realizar una operación de ajuste.

#### d) Consumo Final de Energía por Sectores y Total

En esta sub-matriz de la matriz general presentada en la Figura 3 se consignan los consumos de energía tanto de fuentes primarias y secundarias en cada uno de los sectores de consumo.

Las filas de esta sub-matriz corresponden a la apertura sectorial utilizada, y puede incluir el consumo no energético (materias primas básicas de la petroquímica, aceites lubricantes, grasas, asfaltos, solventes, etc.).

#### e) Indicadores globales

Los indicadores que serán calculados directamente de la información obtenida del balance energético son los que se enlistan, el detalle del cálculo es mostrado en el Anexo 3:

- Oferta Bruta Total (OBT), es la energía disponible en el sistema durante el año en estudio.
- Consumo Neto Total (CNT) que es la energía consumida por los sectores socioeconómicos y el propio sector energético.
- La Eficiencia Aparente del Sistema Energético (EFA), no incluye la eficiencia específica de los sectores de consumo, pero da una idea del aprovechamiento energético del sistema.
- El grado de independencia energética ( $I^{\circ}$ ), indica qué porcentaje de las necesidades energéticas del sistema es abastecida por medio de recursos locales
- El consumo energético per cápita (CENEPC), nos dice la cantidad de energía por habitante consumida y sirve de parámetro de comparación con otros sistemas.
- El consumo eléctrico per cápita (CELEPC), nos dice la cantidad de electricidad consumida por habitante, siendo un indicador muy utilizado a nivel internacional.



#### 5.4.2 Metodología para la evaluación en energía

En esta sección se presenta de forma general el procedimiento que se seguirá para realizar la evaluación en energía del sistema energético sonorense. Los detalles de la metodología se encuentran en el Anexo 4.

Para realizar la conversión de las cantidades de las estadísticas energéticas del Estado de Sonora se investigaron en la literatura los valores de transformidades más adecuados para el análisis. Estos valores encontrados se muestran en el inciso a). En el inciso b) se enlistan los indicadores en energía utilizados para describir el objeto de estudio y en el inciso c) se presenta de forma general la herramienta gráfica (diagrama ternario) desarrollada por Giannetti, et al (2004) en la UNIP y que funciona para presentar de forma más clara los resultados en energía.

##### a) Transformidades utilizadas

Las transformidades en este trabajo se obtuvieron de estudios previos que utilizaron la teoría de energía para hacer el análisis de productos energéticos. Se consideraron sólo los productos energéticos sonorenses de uso más amplio: las tecnologías de generación de energía eléctrica, el gas natural para generación de calor, los petrolíferos (combustóleo, turbosina, gasolinas y diesel) y el gas LP.

En la tabla 5.2 se muestran las transformidades utilizadas y la referencia de donde fueron obtenidas.

Producto energético	Transformidad	R (%)	N (%)	F (%)	Referencia*
Electricidad por termoeléctrica	2.00E5 sej/J	6.55	69.75	23.7	Brown, Ulgiati (2002)
Electricidad por hidroeléctrica	6.23E4 sej/J	68.74	18.15	13.11	Brown, Ulgiati (2002)
Electricidad por ciclo combinado	1.7E5 sej/J	7.82	77.01	15.17	Brown, Ulgiati (2002)
Gas Natural	3.26E9 sej/g	0	89.7	10.3	Bastianoni, et al (2008)
Combustóleo (Fuel-oil)	2.66E9 sej/g	0	89.7	10.3	Bastianoni, et al (2008)
Gasolinas	2.92E9 sej/g	0	89.7	10.3	Bastianoni, et al (2008)
Diesel (Gas-oil)	2.83E9 sej/g	0	89.7	10.3	Bastianoni, et al (2008)

<b>Turbosina (Queroseno)</b>	2.92E9 sej/g	0	89.7	10.3	Bastianoni, et al (2008)
<b>Gas LP</b>	3.11E9 sej/g	0	89.7	10.3	Bastianoni, et al (2008)

Tabla 5.2. Transformidades para los productos energéticos del sistema sonorense.

\*La línea base utilizada en las referencias para el cálculo de las transformidades es: 9.44E24sej/año

También se obtuvieron las transformidades de posibles energías alternativas renovables que tienen potencial en la región sonorense. Para este caso se tomo en cuenta sólo el sector de electricidad debido a que se consideró que este es el sector con más posibilidades de una sustitución de este tipo al mediano plazo. En la tabla 5.3 se muestran las fuentes alternativas de energía eléctrica consideradas y las transformidades utilizadas. No es la intención de este estudio profundizar en las posibilidades de energías alternativas en Sonora, sino mostrar la aplicación de la evaluación en emergía para presentar y valorar opciones energéticas.

<b>Producto energético</b>	<b>Transformidad</b>	<b>R(%)</b>	<b>N(%)</b>	<b>F(%)</b>	<b>Referencia</b>
<b>Electricidad por solar termoeléctrica</b>	2.00E5 sej/J	27.8	6.95	65	Odum (1995)*
<b>Electricidad eólica</b>	6.21 E4 sej/J	86.56	0	13.44	Brown, Ulgiati (2002)

Tabla 5.3. Transformidades de las fuentes alternativas de energía eléctrica consideradas.

\*La explicación para el cálculo en emergía de la electricidad solar termoeléctrica se encuentra en el Anexo 6

#### b) Indicadores en emergía

Los indicadores en emergía calculados para describir el sistema energético del Estado de Sonora son los siguientes:

- Índice de carga ambiental (Environmental loading ratio, ELR), es un indicador del estrés en el medio ambiente local debido a la actividad productiva. Es la razón entre la suma de las entradas pagadas o retroalimentación de la economía (F) y la emergía de los recursos locales no renovables (N) entre la emergía de los recursos locales renovables (R).

$$ELR = \frac{N + F}{R}$$

- Índice de rendimiento en energía (Emergy yield ratio, EYR), es la razón entre la energía de la salida del sistema entre las entradas compradas (F) y representa la cantidad de energía entregada ante la cantidad de energía comprada. Este indicador calcula la capacidad del proceso de producir beneficios con recursos gratuitos locales.

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{R + N + F}{F}$$

- Índice de inversión en energía (Emergy investment ratio, EIR), nos muestra la relación entre la energía de las entradas económicas con aquellas entradas provistas por el medio ambiente (renovables o no):

$$EIR = \frac{F}{N + R}$$

- Índice de sustentabilidad en energía (Emergy index of sustainability, SI), nos muestra la razón entre EYR y ELR, que es una función de la sustentabilidad para un dado proceso o sistema. Con esta división nos dice la capacidad que ofrece el proceso de entregar una contribución beneficiosa a la sociedad con una presión ambiental baja.

$$SI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{Y/F}{(N + F)/R}$$

### c) Diagrama ternario (SIMERGÍA)

El diagrama ternario en energía desarrollado por Giannetti, Almeida y Bonillas en la UNIP en Sao Paulo, Brasil, es utilizado en este estudio como una forma de comunicar los resultados obtenidos. En esta sección se explicará a grandes rasgos la herramienta que se explica con detalle en el Anexo 5.

El diagrama ternario energético tiene 3 componentes, R (recursos renovables), N (recursos no renovables) y F (recursos comprados). Estos componentes son representados en un triángulo equilátero donde cada esquina representa uno de los elementos y cada lado es un sistema binario; la composición ternaria es representada por puntos dentro del triángulo. Las proporciones relativas de los elementos están dadas por la longitud de líneas perpendiculares que unen el punto *simergético* con cada lado del

triángulo. En la figura 5.5 se muestra un ejemplo de esto para un sistema A compuesto por las siguientes entradas: 16% de F, 62% de N y 22% de R.

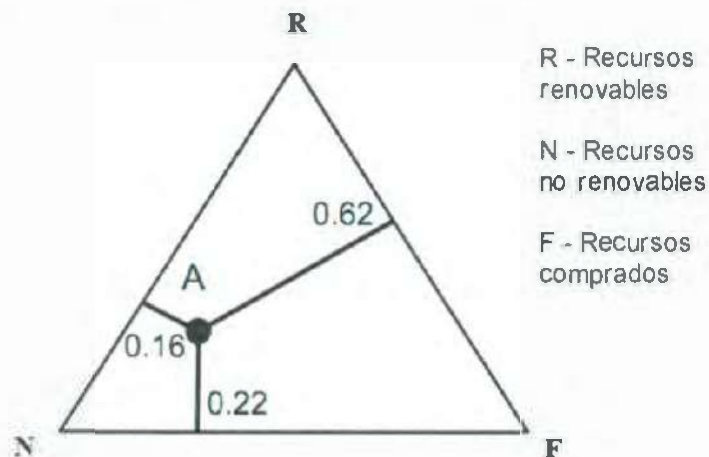


Figura 5.5. Ejemplo de un sistema representado en el diagrama ternario en emergía (tomado de Giannetti, et al 2006)

A partir de esta representación se pueden hacer análisis de la sustentabilidad de los sistemas evaluados en emergía, como se muestra en las figura 5.6 y 5.7. En la figura 5.6 se muestra la comparación entre dos sistemas, A y B. En la figura 5.7 se muestran las líneas de sustentabilidad que ayudan a evaluar un sistema. Entre la base del triángulo equilátero y la primera línea de sustentabilidad ( $SI=1$ ) se encuentran los sistemas insustentables a corto plazo, entre la primera y la segunda línea de sustentabilidad ( $1 < SI < 5$ ) se encuentran los sistemas sustentables al mediano plazo y de la segunda línea de sustentabilidad a la punta del triángulo se encuentran los sistemas con sustentabilidad a largo plazo.

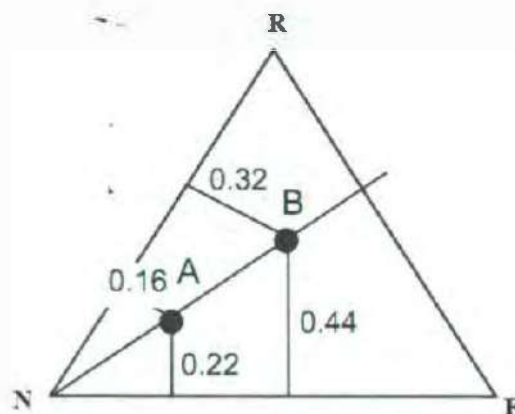


Figura 5.6. Comparación entre dos sistemas evaluados en emergía y representados en el diagrama ternario (tomado de Giannetti, et al. 2007)

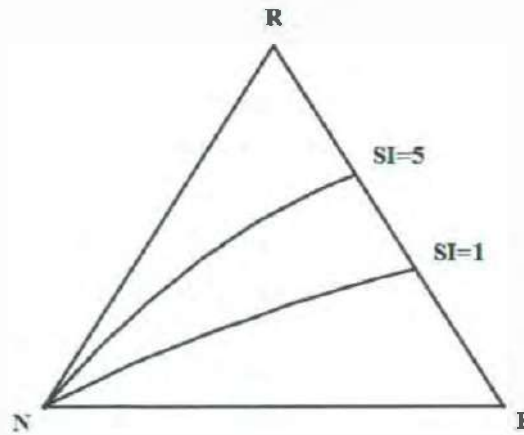


Figura 5.7. Diagrama ternario en energía con las líneas de sustentabilidad (tomado de Giannetti, et al. 2006).

Otro aspecto importante de la representación en el diagrama ternario en energía es que cuando se representan dos o más sistemas en él, éstos pueden ser combinados y representados por un solo punto llamado “*simergía*”. Esto permite analizar varios aspectos de un sistema y evaluar su sustentabilidad conjunta. En la figura 5.8 se muestra un ejemplo de *simergía*.

Por último en la figura 5.9, se presenta otro elemento utilizado para el análisis en energía realizado en este estudio. El área que ocupa un punto también es indicativa de la amplitud con la que ese componente afecta el sistema en estudio (esto cuando se evalúan varios aspectos dentro de un sistema, como por ejemplo en el caso del sistema energético que se estudia en este trabajo).

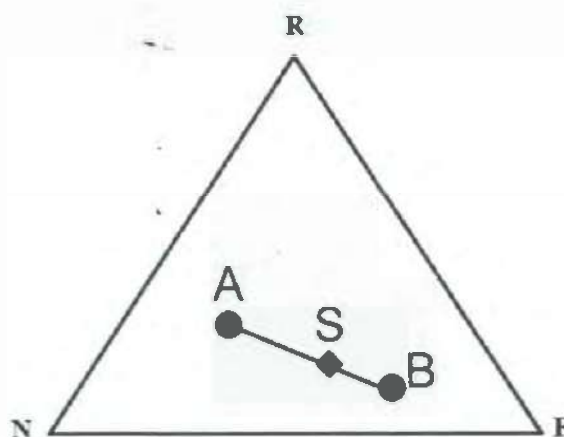


Figura 5.8. Representación del punto *simergía* para los sistemas A y B (tomado de Giannetti, et al. 2007).

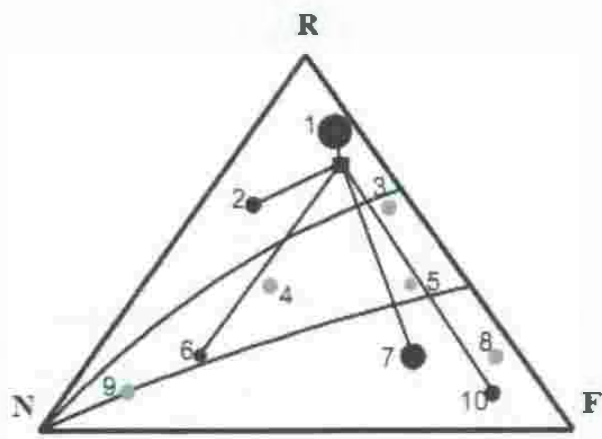


Figura 5.9. Representación completa de un sistema con varios componentes (1-10), punto simergia (cuadrado) y amplitud del área del punto según participación en el sistema (tomado de Giannetti, et al. 2006).

## VI. Resultados

### 6.1 Visión general del Estado de Sonora

El Estado de Sonora se encuentra ubicado al noroeste de la República Mexicana ( $30^{\circ} 50'$  latitud Norte y  $108^{\circ} 20'$  longitud Oeste) y cuenta con la segunda extensión territorial más grande entre los estados mexicanos con  $184,934 \text{ km}^2$ , que representan el 9.2% del territorio nacional. En el estado habitan 2 millones 662 mil 432 personas (INEGI, 2010), siendo uno de los estados con menor densidad de población de la república (menos de 25 personas por  $\text{km}^2$ ). Colinda al norte con los Estados Unidos, al sur con el Estado de Sinaloa, al este con el Estado de Chihuahua y al oeste con el Golfo de California (o Mar de Cortés) y con el Estado de Baja California.

En Sonora se pueden distinguir dos grandes áreas climáticas y geográficas, una contigua a las costas del norte y centro del estado siendo un extenso terreno plano en el cual se encuentran matorrales y desiertos. En la segunda, ubicada al este del territorio, se encuentra un área montañosa, principalmente sobre la Sierra Madre Occidental, húmeda y fértil, de donde nacen los principales ríos de la región: el río Sonora, el río Yaqui y el Río Mayo. El clima en gran parte del territorio va de semiseco templado a muy seco y cálido, con una temperatura media anual de  $24.5^{\circ} \text{C}$ . La radiación solar en Sonora alcanza un promedio de  $4800 \text{ kWh m}^{-2}$  y la precipitación anual promedio es de  $370.4 \text{ mm/año}$ . La entidad cuenta además con una larga extensión litoral de aproximadamente  $1,207.81 \text{ km}$  que representa casi la mitad del perímetro del estado (Garatuza, 2001 e INEGI, 2009).



Figura 6.1. Imagen satelital del Estado de Sonora (Google Earth)

En cuanto al desempeño económico del Estado de Sonora las variaciones anuales del producto interno bruto (PIB) se muestran en la figura 6.2 donde se puede observar que del año 2006 al 2008 ha habido una caída en la productividad estatal, sin embargo, el PIB per cápita (debido a la baja densidad poblacional) se encuentra arriba del promedio nacional con una producción de \$115,925.00 por persona (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2010).

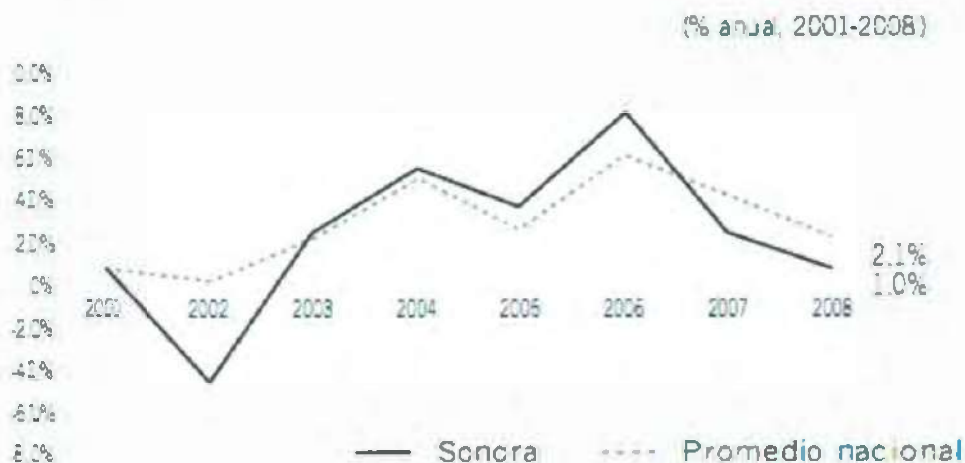


Figura 6.2. Crecimiento del PIB en Sonora del 2001 al 2008 (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2010)

La industria manufacturera es el sector económico más productivo en el estado, dentro del cual la industria alimenticia, de bebidas y tabaco y la de fabricación de maquinaria, equipo y productos metálicos representan la aportación más amplia a la productividad estatal. La actividad de fabricación de maquinaria, equipo y productos metálicos es la de mayor crecimiento en los últimos años debido en gran parte al impulso de la industria automotriz.

## 6.2 Descripción del sistema energético de Sonora

El consumo energético en Sonora representó aproximadamente el 2.8% del consumo energético nacional en el año 2008. Las variaciones anuales del consumo energético estatal en comparación con las variaciones del PIB sonorenses se muestran en la figura 6.3. En esta sección se dará una descripción general del sistema energético sonorenses y su posición dentro del sistema energético nacional. En las secciones posteriores se darán los datos estadísticos obtenidos por cada producto energético, así como las estimaciones



realizadas cuando fue necesario, divididos en las tres grandes etapas del flujo energético: oferta, transformación y consumo de energía.

La matriz de energía en Sonora se detallará a partir de cinco clasificaciones:

- a) Gas Natural,
- b) Energía Eléctrica,
- c) Petrolíferos y Gas LP,
- d) Biomasa, y
- e) Otros productos energéticos.

Para poder realizar un balance energético se debe de realizar antes un balance de cada producto energético, desde las formas de generación (o importación) hasta los consumos propios de cada sector socio-económico. A lo largo de este estudio se hace énfasis en las primeras cuatro áreas energéticas que son las que contaron con mayor información de fuentes confiables (organismos estatales de energía y empresas privadas) y las mercancías agrupadas en "otros productos energéticos" se trata de bienes que aunque representan una aportación importante en la matriz general serán mencionadas con menor detalle por no contar con fuentes sólidas de información.

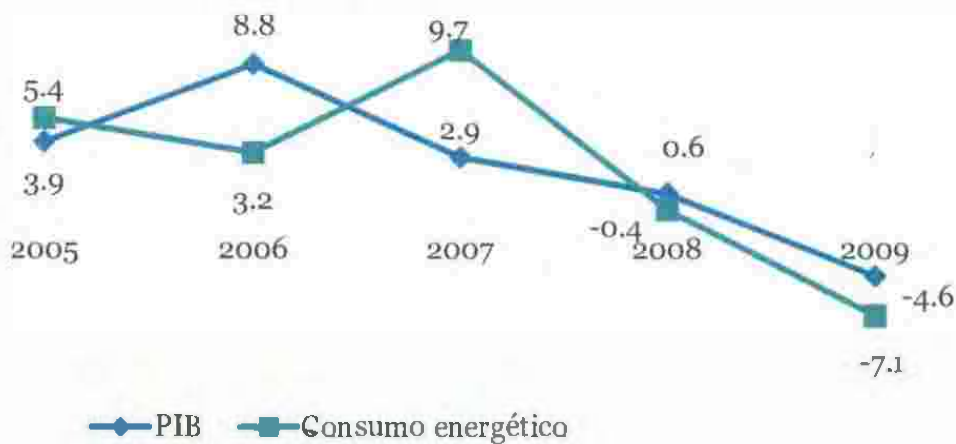


Figura 6.3. Comparación entre las variaciones porcentuales anuales del consumo energético y el PIB estatal. (Elaboración propia).

#### a) Descripción general del gas natural en Sonora

El gas natural en México es extraído en la región sureste del país y en el Golfo de México, después es distribuido a través del Sistema Nacional de Gasoductos (SNG). Una característica distintiva de la región noroeste del país, que incluye Sonora, en cuanto al

consumo de gas natural es que no tiene conexión con el SNG por lo cual no tiene acceso a la producción nacional, por lo tanto todo el requerimiento de gas natural en Sonora es abastecido por medio de importación desde Estados Unidos, a través de tres gasoductos: Naco-Hermosillo (propiedad de Pemex Gas y Petroquímica Básica, PGPB), Naco-Agua Prieta (propiedad de Mexicana de Cobre) y Agua Prieta (propiedad de El Paso Gas Transmission de México). Sus ubicaciones se muestran en la figura 6.4.



Figura 6.4. Lugar de interconexión de los gasoductos para el comercio internacional con Estados Unidos (tomado de Prospectiva del gas natural 2009-2024, SENER, 2009b).

b) Descripción general de la electricidad en Sonora

La energía eléctrica en México tiene dos componentes: las ventas internas de energía eléctrica proveniente de las paraestatales (CFE y la extinta LyFC) y de productores independientes de energía o PIE (ej. Fenosa); y el autoabastecimiento que incluye la autogeneración para usos propios, pequeña producción e importación de electricidad.

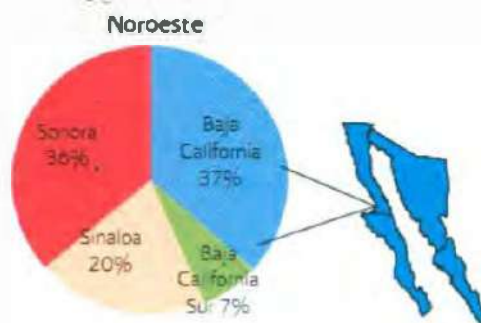


Figura 6.5. Consumo de electricidad en el noroeste (tomado de Prospectiva del sector eléctrico 2009-2024 SENER, 2009a)

La electricidad producida por las plantas de servicio público, tanto paraestatales como PIE, se introduce a la red nacional de transmisión y distribución, por lo cual la producción total de una entidad puede ser menor o mayor a su propio consumo interno, sin embargo la energía eléctrica faltante o excedente es equilibrada con el consumo o la producción de otros lugares de la república. En la región noroeste, Sonora representó en el 2008 el 36% del consumo regional total de electricidad, como se mostró en la figura 6.5.

a) Descripción general de los petrolíferos y el gas LP en Sonora

En cuanto a los petrolíferos en México existen 6 refinерías: Cadereyta, Madero, Tula, Salamanca, Minatitlán y Salina Cruz. Todas ellas se encuentran fuera de Sonora, por lo tanto, los derivados del petróleo que entran al estado tienen dos orígenes: la producción proveniente de las refinерías nacionales y los provenientes del mercado internacional, principalmente con los Estados Unidos.

En Sonora se consumen básicamente cuatro tipos de petrolíferos: gasolinas, diesel, combustóleo y turbosina.

La estructura de la demanda de petrolíferos en la región noroeste como es presentada en la Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017 de la SENER se muestra en la figura 6.6. Como se puede observar en la figura, la llegada de petrolíferos importados a Sonora sucede principalmente en el puerto de Guaymas, con algunas entradas menores por Nogales, Puerto Libertad y Magdalena. Los derivados del petróleo en Sonora son vendidos a través de cuatro superintendencias: Guaymas, Navojoa, Hermosillo y Nogales, que se encuentran adscritas a la Gerencia de Almacenamiento y Reparto del Pacífico.

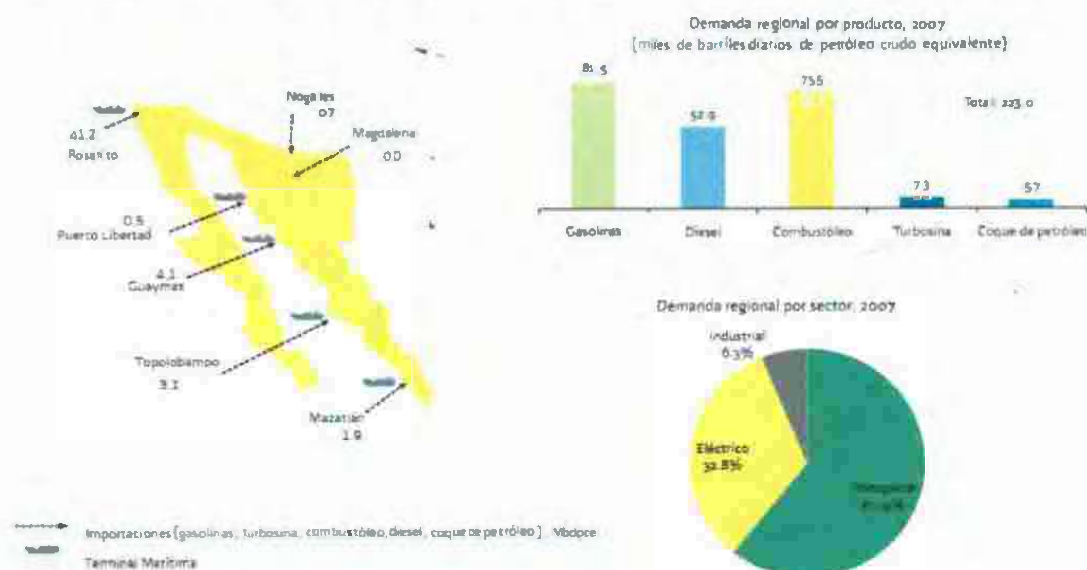


Figura 6.6 Demanda regional (tomado de Prospectiva de Petrolíferos, SENER, 2008)

En lo que respecta al gas licuado de petróleo éste, al igual que el gas natural, es todo importado desde los Estados Unidos, sin embargo, el gas LP no es ingresado al Estado de Sonora por medio de gasoductos sino por vía terrestre siendo Nogales el punto de interconexión. En la figura 6.7 se muestra el flujo de distribución del gas LP en México y específicamente en Sonora. En el estado, entre los años 2000 a 2009 operaron dos representaciones comerciales para el suministro de gas licuado: la terminal Nogales y la terminal Hermosillo, ambas instalaciones de propiedad privada y no de Pemex. Es de destacar que la terminal Hermosillo inició operaciones en el año 2002 y concluyó en el 2007.

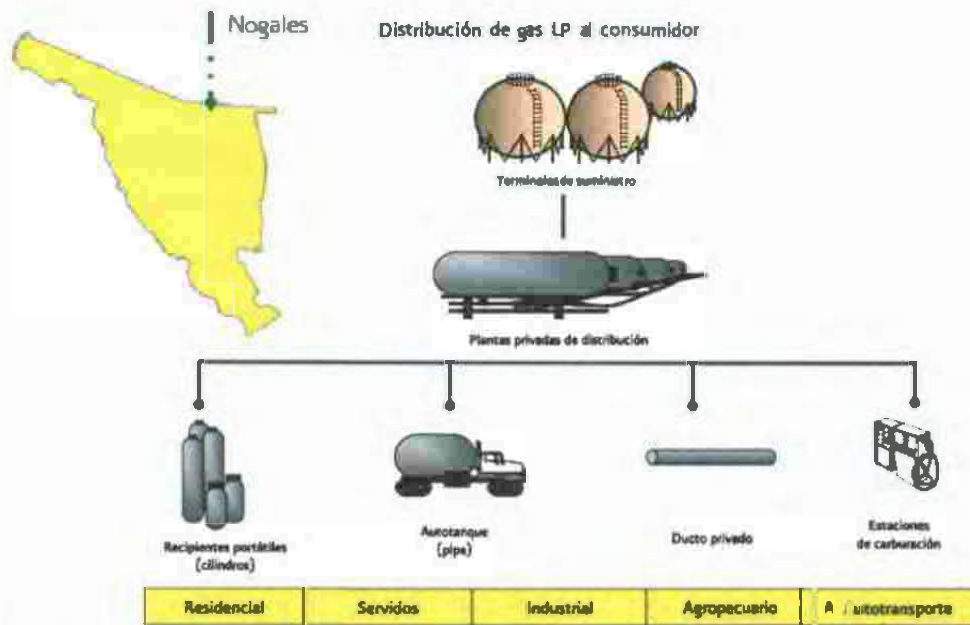


Figura 6.7. Flujo de distribución de gas LP (Prospectiva de gas LP 2009-2024, 2009c).

#### b) Descripción general de la biomasa en Sonora

La producción de carbón vegetal en México es una industria muy madura que ha alcanzado niveles altos de exportación mayoritariamente a los Estados Unidos. En el 2007 alcanzó exportaciones de más de 8 mil millones de dólares según datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

La CONAFOR en su portal de internet tiene un reporte anual de la producción forestal maderable separada por productos y por entidad federativa. Este reporte anual actualmente llega hasta el año 2005. Con el fin de dar una idea de la aportación de la biomasa forestal con fines energéticos (leña y carbón vegetal) se considerarán estos datos para realizar las estimaciones del periodo de estudio (2005-2009). Los usos dados a la leña y al carbón vegetal se discutirán en la sección de consumo.

Asimismo, la producción de energía (biogás, principalmente) a partir de biomasa residual (estiércol de cerdo) ha despertado algún interés entre los productores porcinos de la región. Como sucede con los productos energéticos de la biomasa, no se tienen datos exactos de la cantidad de energía que se produce y para el caso de la producción de biogás solo se hace la indicación de la existencia de este tipo de uso sin tener los medios para estimar un valor energético.

#### c) Descripción general de otros productos energéticos en Sonora

La extracción de carbón mineral antracítico en algunas minas sonorenses es considerada por este estudio como un producto energético primario y es mencionado en la descripción de la *oferta de energía primaria*, además se incluye esta producción en el balance energético. Igualmente se hace mención de los usos industriales coque de petróleo que es un derivado del petróleo importado por la industria cementera. Asimismo, se realizó una estimación sobre el uso de coque de carbón en la industria minera del estado.

En ambos casos es información débil en confiabilidad, por lo que se incluye en esta parte. Las estimaciones realizadas aquí y a lo largo del trabajo se explican en el anexo 7.

#### 6.2.1 Oferta de energía primaria

La producción de energía primaria en Sonora se limita a la hidroenergía y la biomasa. En este estudio, también se considera el gas natural como energía primaria para coincidir con la clasificación realizada en la mayoría de los estudios energéticos consultados; sin embargo, el gas natural que llega al Estado de Sonora proviene de los centros procesadores de gas en los Estados Unidos para su purificación de componentes diferentes al metano, es decir, el gas que llega al estado ya está procesado para su uso comercial. Esto lo convertiría en una energía secundaria, ya que sufre una transformación, pero en este estudio se considera como una energía primaria por la razón ya mencionada.

#### a) Hidroenergía

La planta hidroeléctrica más importante del estado está ubicada sobre la cuenca del río Yaquí entre los municipios de Soyopa y San Pedro de la Cueva. La hidroeléctrica "El

Novillo” se ubica en la presa “Presidente Plutarco Elías Calles”, fue fundada en 1964 y tiene una capacidad de 135 MW. Además de ésta existen otras dos hidroeléctricas pequeñas e intermitentes: Mocúzari y Oviachic, de 10 MW y 19 MW respectivamente, ambas ubicadas al sur de la entidad.

La producción de energía eléctrica por la hidroeléctrica El Novillo del año 2005 al 2009 se muestra en la siguiente tabla. Para efectos de esta investigación la producción de energía eléctrica por hidroenergía será considerada como el insumo de energía primaria para esta misma fuente en la matriz general.

Hidroenergía, MWh	2005	2006	2007	2008	2009
El Novillo	405,270.8	326,570.9	460,231.7	446,803	434,051.8

Tabla 6.1. Producción de electricidad de la hidroeléctrica *El Novillo*. (CFE, 2010b)

#### b) Biomasa

La leña producida con fines energéticos en el Estado de Sonora y que no es utilizada para producir carbón vegetal es reportada por la CONAFOR en su reporte anual que, como ya explicamos en la sección de *descripción general*, no abarca todos los años de estudio y solamente cuenta con el dato del 2005. Sin embargo, tomaremos los datos del año 2001-2004 para darnos una idea de la aportación de este producto en la matriz energética del estado. La información encontrada se presenta en la tabla 6.2.

Leña, ton.	2005	2006*	2007*	2008*	2009*
Producción anual de leña	1,287.3	1,875.1	1,675.95	1,476.8	1,277.65

Tabla 6.2. Producción anual de leña combustible en el Estado de Sonora (con información de la CONAFOR, 2010). \*años con valores estimados por el autor en base a los datos 2001-2005.

La leña utilizada como insumo para producir carbón vegetal se calculó a partir de la eficiencia típica de los hornos utilizados, que es de alrededor de 300kg de carbón por cada tonelada de leña (FAO, 1983) y de la producción de carbón vegetal reportada por la CONAFOR. Los resultados se muestran en la tabla 6.3.

Leña, ton.	2005	2006*	2007*	2008*	2009*
<b>Insumo</b>	78,696	68,792	63,818	58,844	53,870

Tabla 6.3. Leña usada como insumo en producción de carbón vegetal en Sonora (información de CONAFOR, 2010). \*valores estimados por el autor en base a los datos 2001-2005.

c) Gas natural

Como ya se explicó al inicio de esta sección, el gas natural que se consume en Sonora se importa desde los Estados Unidos a través de los gasoductos internacionales en los puntos de interconexión dedicados al comercio internacional. Esta importación es realizada tanto por Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB) como por particulares. Las importaciones particulares pueden ser efectuadas libremente, por lo tanto no existe una relación de importadores. La única empresa que cuenta con permiso de comercialización en el estado es Gas Natural del Noroeste con el número G/014/DIS/97 para la Zona Geográfica de Hermosillo-Guaymas-Empalme, sin que esto signifique que esta empresa sea importadora.

En la tabla 6.4 se muestran las cantidades por tipo de importación en el periodo de estudio, obtenidas de la Prospectiva de Gas Natural 2009-2024 publicado por la SENER. Los datos para el año 2009 fueron estimados en base al consumo total en el estado debido a que los datos desglosados de la importación de ese año aun no se encuentran disponibles.

Gas natural, miles de m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009
<b>PGPB</b>	93,020.8	320,405	351,412	392,754.6	335,435
<b>Sistema eléctrico público</b>	682,152.8	702,824	640,810.2	775,173.6	895,911
<b>Particulares</b>	103,356.5	103,356.5	113,692.1	103,356.5	
<b>Total</b>	<b>878,530</b>	<b>1,126,585.6</b>	<b>1,105,914.3</b>	<b>1,281,620.4</b>	<b>1,231,346</b>

Tabla 6.4. Importaciones de gas natural por tipo de importación en el Estado de Sonora (SENER, 2009b), cifras redondeadas.

d) Otras energías primarias

Otra producción de energía primaria es el carbón mineral antracítico que es extraído de las minas de San Javier, San Antonio y El Tule. La producción de este mineral en Sonora

se reporta en el portal del Sistema de Información Estadística del Estado de Sonora (SIEES) y los datos se muestran en la tabla 6.5. Para fines de este estudio se consideró que toda la producción es destinada a exportación (dentro o fuera del país).

Antracita, ton.	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Producción anual de carbón</b>	40,500	56,000	133,000	153,750	211,300

Tabla 6.5. Producción anual de carbón antracítico (con información del SIEES, 2010).

### 6.2.2 Transformación de energía y oferta de energía secundaria

#### a) Energía eléctrica

Las centrales eléctricas son los principales centros de transformación en el Estado y todas (excluyendo las hidroeléctricas) queman hidrocarburos. Las centrales eléctricas más importantes en Sonora, la tecnología utilizada y sus capacidades se muestran en la tabla 6.6, dos son de propiedad privada (Unión Fenosa), bajo el modelo de productor independiente, y el resto son de propiedad estatal (CFE, 2010a).

La cantidad de electricidad generada por estas plantas en el periodo 2005-2009 se muestra en la tabla 6.7. Se vuelve a incluir la producción de la hidroeléctrica El Novillo porque es una producción de energía secundaria, mientras que en la sección de *oferta de energía primaria* se mostró como insumo de energía primaria. La producción de las plantas restantes en el estado se engloba en la entrada "otras plantas", éstas se encuentran en regiones rurales y son principalmente para pequeños usos. La tecnología usada en estas plantas es turbina de gas (turbogas) a base de diesel, por lo que más adelante se calculará el volumen de diesel utilizado como insumo en el sector eléctrico en base a la producción de "otras plantas".

Los permisos otorgados para autogeneración e importación de electricidad y que se encontraban en operación hasta el 2009 se presentan en la tabla 6.8. La cantidad de energía eléctrica producida por auto-abastecedores así como la cantidad importada se muestra en la tabla 6.9. Los datos que se muestran en estas tablas provienen de la información otorgada por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) a través de su oficina de transparencia.



Central eléctrica	Tecnología	Combustible	Capacidad MW
Puerto Libertad	Termoeléctrica convencional	Combustóleo	632
Guaymas II	Termoeléctrica convencional	Combustóleo	484
Fenosa Naco-Nogales	Ciclo combinado	Gas natural	258
Fenosa Hermosillo	Ciclo combinado	Gas natural	250
CCC Hermosillo	Ciclo combinado	Gas natural	227
Hidroeléctrica El Novillo	Hidroeléctrica	Hydroenergía	135

Tabla 6.6. Principales centrales eléctricas en Sonora (CFE, 2010b)

Central eléctrica, MWh	2005	2006	2007	2008	2009
Puerto Libertad	3,517,521.14	2,791,689.48	2,555,957.76	2,261,083.90	2,381,603.79
Guaymas II	1,357,560.08	1,439,277.08	1,778,215.58	1,477,981.64	1,488,032.21
Fenosa Naco-Nogales	1,755,588.41	1,880,473.05	1,929,885.06	2,090,294.05	2,023,882.36
Fenosa Hermosillo	1,273,180.86	1,642,023.18	1,386,368.54	1,901,075.6	1,978,343.07
CCC Hermosillo	165,091.32	1,381,592.85	1,525,715.55	1,775,849.73	1,566,602.49
Hidroeléctrica El Novillo	405,270.8	326,570.92	460,231.77	446,803.01	434,051.85
Otras plantas	143,864	125,329	76,052.5	120,231	133,982
<b>Total</b>	<b>8,618,076.77</b>	<b>9,586,955.22</b>	<b>9,712,426.75</b>	<b>10,073,318.8</b>	<b>10,006,767.4</b>

Tabla 6.7. Generación bruta de energía eléctrica por planta en MWh (CFE, 2010b).

Permisionario	Energía autorizada (GWh al año)	Energético primario
Bose, SA de CV	18.40	Importación
Celulosa y Corrugados de Sonora	21.25	Combustóleo
Mexicana de Cobre	287.61	Combustóleo
Bimbo del Noroeste	2.67	Diesel

GPI Mexicana	8.00	Importación
Hyo Seung de México	8.00	Importación
Enviroquip, S. de R.L	11.70	Importación
Molymex, SA de CV	0.60	Diesel
Demda de México (antes Daewoo Electronics)	20.00	Importación
Tablex Miller	0.60	Diesel
Alimentos Kowi	1.03	Diesel
Maquilas Tetakawi	0.56	Diesel
Teléfonos de México, Central Obregón	0.26	Diesel
Sabritas	3.12	Diesel
Teléfonos de México, Central Morelia	0.34	Diesel
Teléfonos de México, Central Yañez	0.25	Diesel
Teléfonos de México, Central Cortines	0.26	Diesel
Cervecería Modelo del Noroeste	2.97	Diesel
Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Planta Navojoa	2.97	Diesel
Hierro Sonora	11.29	Diesel
Porcelanite Lamosa	6.12	Diesel
Grupo Chamberlain	2.15	Diesel
Costco de México	0.64	Diesel
Promotora Valag	7600.00	Gas Natural (en construcción)
Nusantara de México, S.A. de C.V., Mina Santa Elena	16.8	Diesel

Tabla 6.8. Permisos otorgados para autogeneración e importación (CRE, 2010b).

Electricidad, GWh	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Autoabastecedores</b>	34.68	65.44	75.51	72.39	43.61
<b>Importación</b>	24.56	27.87	34.96	7.12	27.48

Tabla 6.9. Energía eléctrica importada y generada por auto-abastecedores (CRE, 2010).

El sector eléctrico, siendo el más grande sector de transformación en la entidad, es el mayor consumidor de fuentes secundarias como insumo: gas natural, combustóleo y diesel (en las plantas de turbogas). Los datos para el gas natural son reportados en el Sistema de Información Energética (SIE, 2010), mientras que los del combustóleo y el diesel fueron calculados en base a la producción de electricidad que utilizan esas entradas, tomando una eficiencia estándar de termoeléctrica y turbina de gas de 37%. Las tablas 6.10 y 6.11 muestran estos resultados. Las importaciones de combustóleo

reportadas por PEMEX para el periodo de estudio no satisfacen la producción de energía eléctrica a la eficiencia estándar de una planta termoeléctrica, sin embargo, se consideró que en las plantas existen grandes áreas de almacenamiento que pueden corregir este déficit.

Insumos, m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Diesel</b>	48,613.9	52,822.9	41,265.4	52,853.5	48,896.6
<b>Combustóleo</b>	1,201,477	1,042,901	1,068,233	913,964	953,734

Tabla 6.10. Entrada de diesel y combustóleo al sector eléctrico (elaboración propia a partir de la producción de electricidad, tomando una eficiencia del 37% en ambas tecnologías).

Insumo, miles de m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Gas natural</b>	738,378	959,148	963,075	1,139,618	1,098,875

Tabla 6.11. Entradas de gas natural al sector eléctrico (con información del SIE, 2010).

Como es de esperarse, las centrales eléctricas también consumen energía eléctrica. Los consumos propios de las plantas sonorenses se presentan en la tabla 6.12.

Consumo, MWh	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Consumos propios del sector eléctrico</b>	5,534.69	5,175.17	5,055.24	4,056.09	4,639.61

Tabla 6.12. Consumos de electricidad del sector eléctrico (información de la CFE, 2010b).

#### b) Oferta de petrolíferos y gas LP

La oferta de energía secundaria incluye la importación de petrolíferos y gas LP. Como ya se explicó anteriormente al Estado de Sonora llegan tanto petrolíferos nacionales como internacionales. Éstos arriban a una de las cuatro superintendencias de ventas de petrolíferos que se encuentran en Sonora: Guaymas, Navojoa, Hermosillo y Nogales. En todas se comercializa gasolina y diesel, mientras que el combustóleo y la turbosina solo son vendidos en Guaymas.

Las cantidades de petrolíferos que llegan a Sonora provenientes de las refinerías nacionales se muestran en la tabla 6.13, mientras que las importaciones internacionales se muestran en la tabla 6.14.

<b>Petrolíferos, m<sup>3</sup></b>	<b>Gasolinas</b>	<b>Diesel</b>	<b>Turbosina</b>	<b>Combustóleo</b>
<b>2005</b>	12,833	6,490.5	0	37,730.4
<b>2006</b>	20,563.6	0	0	121,626
<b>2007</b>	166,021	154,381	0	42,747.7
<b>2008</b>	221,424	200,667	0	207,201
<b>2009</b>	217,336	176,084	0	349,773

Tabla 6.13. Cantidad de petrolíferos que entran al Estado de Sonora provenientes de refinerías nacionales (con información de PEMEX Refinación, 2010).

<b>Petrolíferos, m<sup>3</sup></b>	<b>Gasolinas</b>	<b>Diesel</b>	<b>Turbosina</b>	<b>Combustóleo</b>
<b>2005</b>	1,214,714.7	804,170	110,263	173,964
<b>2006</b>	1,284,868	892,434	122,878	86,835.2
<b>2007</b>	1,227,939.9	753,703	309,598	62,920.5
<b>2008</b>	1,233,985.7	713,333	232,016	110,213
<b>2009</b>	1,247,554.6	667,400	92,625.2	243,501

Tabla 6.14. Importaciones internacionales de petrolíferos al Estado de Sonora (con información de PEMEX Refinación, 2010).

La oferta de gas LP también, como se explicó en la descripción general, es satisfecha por medio de la importación con Estados Unidos. Los valores de importación reportados por Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB) son expuestos en la tabla 6.15.

<b>Gas LP, ton.</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Importación de gas LP en Sonora</b>	243,422	224,922.48	208,112.97	198,546.21	186,480.59

Tabla 6.15. Importaciones de Gas LP a Sonora (con información de PGPB, 2010).

### c) Oferta de carbón vegetal

En Sonora desde la década de los setentas ha existido una fuerte industria de carbón vegetal de fuerte impacto regional que ha alcanzado niveles de exportación en base, fundamentalmente, a la explotación del mezquite. La Secretaría de Medio Ambiente y

Recursos Naturales (SEMARNAT) reporta los permisionarios para la explotación de carbón vegetal y éstos se muestran en la tabla 6.16, todos se encuentran ubicados en el municipio de Yécora.

Permisionario	Giro
Octavio Lugo Carrasco	Carbonería
Productores Unidos de Sonora	Carbonería
Heberto Ronquillo Meléndrez	Carbonería
Carbonera "Mesa de Los Luna"	Carbonería
Oscar Edwiges Pérez Coronado	Carbonería
Juan Caraveo Hernández	Carbonería
Carbonera "El Encinal"	Carbonería
Jesús Francisco López Meraz	Carbonería
Carbonera "Los Rodaderos"	Carbonería
Francisco Javier Rascón Coronado	Carbonería
Víctor Hugo Morales Torres	Carbonería
Carbonera "La Junta"	Carbonería
Carbón del "Campanero, Yécora"	Carbonería
Carbonería "Arroyo Hondo"	Carbonería
Juan Carlos Salas González	Carbonería y Leñería
Irma Olivia González García	Carbonería y Leñería

Tabla 6.16. Permisionarios para la explotación de carbón vegetal (SEMARNAT, 2010).

El carbón vegetal producido en Sonora es reportado por la CONAFOR en su portal de internet sin embargo, como ya se explicó, los datos de esta comisión abarcan hasta el 2005. Se tomará la información del 2001-2004 para completar el rango de estudio y para dar una idea de la contribución del carbón vegetal a la matriz energética sonoreense. Las cantidades se presentan en la tabla 6.17.

Carbón vegetal, ton.	2005	2006*	2007*	2008*	2009*
Producción de carbón vegetal	23,609	20,637.8	19,145.6	17,653.4	16,161.2

Tabla 6.17. Producción de carbón vegetal en Sonora (con datos de la CONAFOR, 2010).

\*años con valores estimados por el autor en base a los datos 2001-2005.

### 6.2.3 Consumo de energía

#### a) Consumo de gas natural

En el portal SIE se muestran los consumos por sector y por entidad federativa de gas natural. En este sistema los sectores socioeconómicos de consumo están clasificados como sigue: sector eléctrico; sector petrolero; sector industrial y autogeneración; y sector residencial, servicios y autotransporte.

El consumo del sector eléctrico se presentó en la *oferta de electricidad* debido a que es un insumo para las centrales eléctricas (transformación). Los consumos restantes se presentan en la tabla 6.18. En la hoja del balance energético el sector petrolero será tomado como "otros centros de transformación", el sector industrial y autogeneración solo como sector industrial y el sector residencial, servicios y autotransporte, solo como sector residencial, esto debido a que la información disgregada no pudo ser reportada por la SENER.

Gas natural, miles de m <sup>3</sup>	Sector petrolero	Sector industrial y autogeneración	Sector residencial, servicios y autotransporte
2005	4,289	137,505	12,351
2006	8,961	143,779	11,555
2007	7,658	159,768	12,227
2008	9,271	143,365	6,966
2009	9,136	118,467	4,868

Tabla 6.18. Consumo de gas natural en Sonora (con información del SIE, 2010).

#### b) Consumo de electricidad

El consumo de energía eléctrica en Sonora es presentado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en las estadísticas de su portal separado por los siguientes sectores socioeconómicos (que coinciden con los sectores tarifarios de la CFE): sector residencial, sector industrial, sector comercial y de servicios y sector agrícola.

Los consumos como se reportar en el portal mencionado se presentan en la tabla 6.19.

Electricidad, MWh	Consumo total en Sonora	Sector residencial	Sector industrial	Sector Comercial/Serv.	Sector Agrícola
2005	9,030,242	2,551,652	5,014,095	560,954	903,541
2006	9,081,149	2,731,778	4,857,776	585,440	906,155
2007	9,496,688	2,863,543	5,105,528	588,230	939,387
2008	9,312,107.5	2,988,241	4,790,577	601,822	931,468
2009	9,122,757.7	3,084,643	4,354,702	669,434	1,013,978

Tabla 6.19. Consumo de energía eléctrica por sector en el Estado de Sonora (con información de la CFE, 2010b)

c) Consumo de petrolíferos y gas LP

El consumo de petrolíferos en Sonora se da principalmente en el sector transporte. La gasolina es comercializada a través de estaciones de servicio de PEMEX exclusivamente, y las ventas realizadas en esas estaciones en Sonora fueron consideradas como el consumo de gasolina del sector transporte. Las ventas reportadas por PEMEX se presentan en la tabla 6.20.

Gasolina, m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009
Ventas en Sonora	1,143,215	1,225,056	1,325,194	1,416,540	1,391,247

Tabla 6.20. Consumo de gasolina en Sonora (con información de PEMEX, 2010).

El diesel también es comercializado en las mismas estaciones de servicio que la gasolina, sin embargo también tiene otros usos en el sector eléctrico y en la industria. La venta en estaciones de servicio se consideró como el consumo del sector transporte. El consumo de diesel en Sonora se describe en la tabla 6.21.

Diesel, m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009
Ventas en estaciones de servicio	655,266.75	715,114.82	726,895.9	742,393.56	698,155.43
Sector eléctrico	48,613.9	52,822.9	41,265.4	52,853.5	48,896.6
Sector industrial	68,726.4	56,305.3	100,605	115,664	93,970
Total	772,607	824,243	868,766	910,911	841,022

Tabla 6.21. Consumo de diesel en el Estado de Sonora (información de PEMEX, 2010).

La venta de turbosina es exclusiva para el sector transporte ya que es utilizada como combustible en los aviones que son abastecidos en Sonora, en la tabla 6.22 se muestran las ventas totales de turbosina.

Turbosina, m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009
Ventas en Sonora	110,322	125,027	305,525	236,562	86,486

Tabla 6.22. Consumo de turbosina en el Estado de Sonora (PEMEX, 2010).

En Sonora, el combustóleo es utilizado significativamente por el sector eléctrico por lo tanto el total de combustóleo se consideró insumo de este sector. En consecuencia, las estadísticas de consumo de combustóleo se encuentran en los insumos de las centrales eléctricas en la sección de *transformación de energía y oferta de energía secundaria*.

Pasando al gas LP, el consumo por sectores socioeconómicos de gas licuado es reportado por el SIE. En Sonora existen estaciones de carburación que suministran gas LP al sector transporte. Además al cierre del 2009 había 401,390 recipientes transportables en el estado para el consumo residencial de gas licuado. Las ventas de recipientes transportables, el llenado de tanques estacionarios, y la distribución por medio de redes de distribución y empresas privadas fueron consideradas como el consumo residencial de gas licuado en Sonora. La lista de empresas privadas que distribuyen gas LP en Sonora se presenta a continuación, así como los resultados obtenidos para el consumo que se muestran en la tabla 6.23.

- Comercial del Valle del Yaqui, SA de CV
- Empresa integradora de estaciones de carburación Sonora Sinaloa, SA de CV
- Gas Continental del Pacífico, SA de CV
- Gas del Pacífico, SA de CV
- Hermogas, SA de CV
- Hidro Gas de Agua Prieta, SA
- Ibero Gas de Agua Prieta, SA de CV
- Kino Gas, SA de CV
- Mercantil Distribuidora, SA de CV
- Planta Almacenadora de Gas, SA de CV
- Rivera Gas, SA de CV



- Zagas de Peñasco, SA de CV

Gas LP, ton.	2005	2006	2007	2008	2009
Sector transp.	16,924.15	28,723.84	30,803.85	26,184.20	29,459.99
Sector resid.	56,261	122,822	117,807	114,888	114,573
Sector indstr.	12,959	20,562.92	20,795.99	19,123.61	19,165.86
Sector comercial/serv.	16,634	26,809.12	24,681.42	22,317.25	21,464.57
Sector agrícola	8,985.97	8,115.19	5,972.71	6,764.09	6,236.04

Tabla 6.23. Consumo de gas LP por sector en Sonora (con información de PGPB, 2010).

#### d) Consumo de biomasa

La totalidad de la leña producida para ser utilizada como combustible fue considerada de uso residencial y se muestra en la tabla 6.24.

Gran parte del consumo de carbón vegetal se consideró residencial debido a que es utilizado en asadores y calentones. Y un porcentaje fue considerado como consumo comercial debido a su amplio uso en establecimientos de venta de carne asada y otros. Además, también se consideró una parte de la producción destinada a la exportación nacional e internacional. Los datos se muestran en la tabla 6.25.

Leña, ton.	2005	2006*	2007*	2008*	2009*
Consumo residencial	1,287.3	1875.1	1,675.95	1,476.8	1,277.65

Tabla 6.24. Consumo de leña en Sonora, (con datos de la CONAFOR, 2010). \*años con valores estimados por el autor en base a los datos 2001-2005.

Carbón vegetal, ton.	2005	2006*	2007*	2008*	2009*
Consumo residencial	9,443.6	8,255.12	7,658.24	7,061.36	6,464.48
Consumo comercial	8,263.15	7,223.23	6,700.96	6,178.69	5,656.42
Exportación	5,902.25	5,159.45	4,786.4	4,413.35	4,040.3

Tabla 6.25. Consumo de carbón vegetal en Sonora, (con datos de la CONAFOR, 2010).

\*años con valores estimados por el autor en base a los datos 2001-2005.

e) Consumo de otros productos energéticos

El consumo de otros productos energéticos es principalmente consumo industrial de coques, tanto coque de petróleo como coque de carbón o carbón siderúrgico. El primero es consumido por la industria cementera y el segundo en la industria minera. Ambos coques se consideraron producidos fuera del estado y obtenidos por importación particular de las industrias que los requieren.

Las cantidades para el coque de petróleo se muestran en la tabla 6.26 y para el coque de carbón (o carbón siderúrgico) en la tabla 6.27, para este último producto se dejó una sola cantidad constante. El coque de carbón es utilizado principalmente en la industria siderúrgica y en la industria minera. Tomando en cuenta lo anterior, en Sonora sería utilizado sólo en la industria minera, ya que en el estado no hay una industria siderúrgica importante, según el reporte del INEGI para ese sector. Para realizar la estimación se tomaron las consideraciones sobre el consumo energético de la minería, presentadas por la SENER en el Balance Energético Nacional 2008 y la producción en Sonora reportada por el SIEES.

<b>Coque de petróleo, ton.</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Consumo de coque de petróleo</b>	287,000*	299,000*	333,000	329,000	313,000

Tabla 6.26. Consumo de coque de petróleo de la industria en Sonora, (con información de la Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017, SENER, 2008). \*valores estimados en base a la información de la prospectiva 2008-2017, véase el anexo 7

<b>Coque de carbón, ton.</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Consumo de coque de carbón</b>	9,491.5*	8,474.6*	9,152.5*	10,847.4*	7,796.6*

Tabla 6.27. Consumo de coque de carbón en Sonora, \*valores estimados en base a la información del Balance Energético Nacional 2008 de la SENER, 2009d.

### 6.3 Balance energético del Estado de Sonora

Con base en la descripción del sistema energético realizada en la sección anterior se realizó el balance de energía del estado utilizando los factores de conversión adecuados para cada producto energético. En la siguiente tabla se muestran los poderes caloríficos utilizados para realizar la conversión de las unidades reportadas en las estadísticas de cada producto energético a las unidades de energía utilizadas en el balance energético, petajoules (PJ). En la última columna se muestran las fuentes de donde se obtuvo la información.

Producto energético	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Poder calorífico neto (KJ/g)	Referencia
Gasolina	720	44.37	Balance Energético Nacional 2008, SENER Hoja de datos de PEMEX
Gas natural	732 * 10 <sup>-3</sup>	47.07	Balance Energético Nacional 2008, SENER Hoja de datos de PEMEX
Diesel	840	42.12	Balance Energético Nacional 2008, SENER Hoja de datos de PEMEX
Combustóleo	982	40.2	Balance Energético Nacional 2008, SENER Sitio en internet de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)
Turbosina	807	42.25	Balance Energético Nacional 2008, SENER Hoja de datos de REPSOL
Gas LP	514	47.29	Balance Energético Nacional 2008, SENER Prospectiva de gas LP 2009-2024, SENER
Leña	700	14.48	Balance Energético Nacional 2008, SENER FAO, 1983
Carbón vegetal	275	29	FAO, 1983
Coque de petróleo	-	30.83	Balance Energético Nacional 2008, SENER
Carbón siderúrgico	-	29.5	Balance Energético Nacional 2008, SENER
Carbón antracítico	-	21.83	Balance Energético Nacional 2008, SENER

Tabla 6.28. Poderes caloríficos netos usados en el balance energético.

Como un ejemplo de las operaciones realizadas para obtener los valores de energía en los balances reportados se muestra el siguiente cálculo a partir de los datos reportados en la sección anterior para la demanda de gasolina en el año 2009, que fue de 1,391,247 m<sup>3</sup>:

De esta manera, conociendo las densidades y los poderes caloríficos de cada producto energético se consiguió la conversión de las unidades naturales de cada mercancía a unidades de energía.

El diagrama de flujo de energía en el Estado de Sonora fue realizado en el software *e!Sankey* (en su versión de prueba) y se muestra en la figura 6.8. En esta imagen se pueden observar a grandes rasgos la trayectoria de cada entrada a la matriz energética, desde su producción (o importación) hasta su uso final.

Como se puede observar la contribución más amplia se debe a la importación de gasolinas y de los principales combustibles utilizados para la producción de electricidad: combustóleo y gas natural.

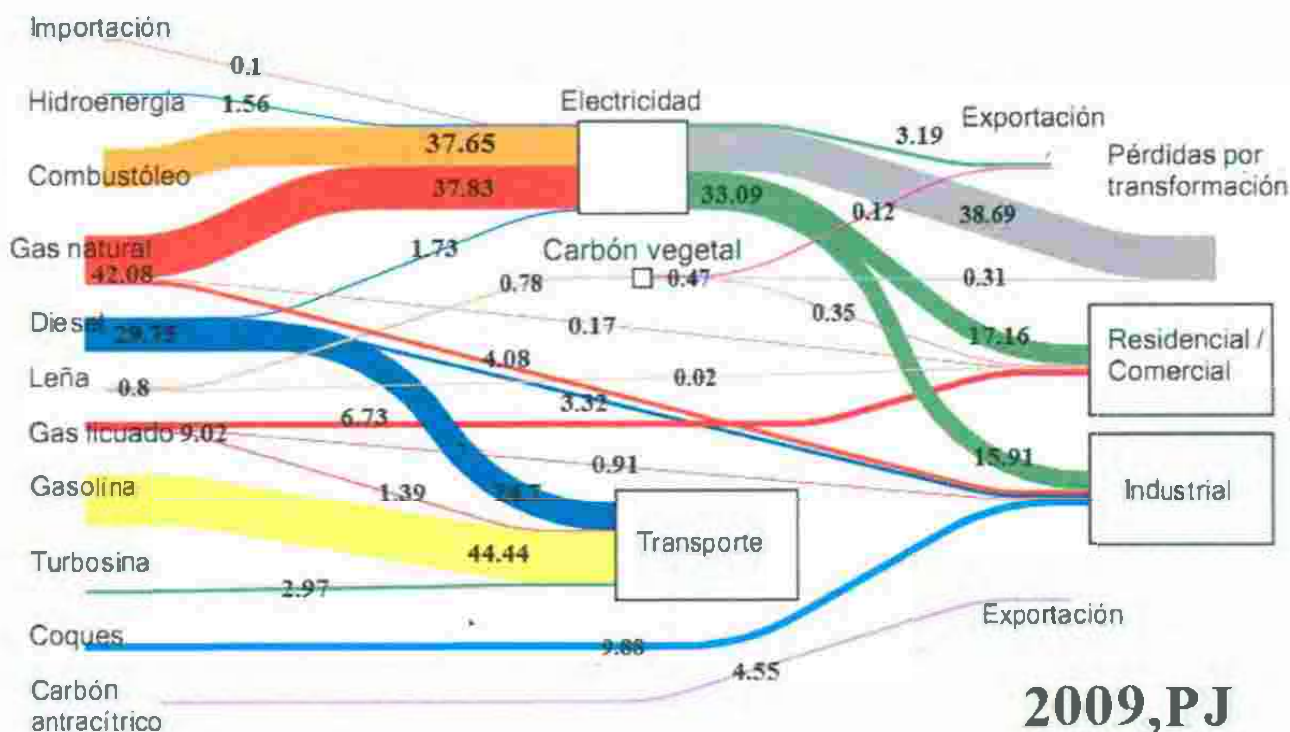


Figura 6.8. Flujo energético en el Estado de Sonora, (elaboración propia con *e!Sankey*).

Notas: a/ no se incluye pérdidas por transmisión y distribución. b/ la suma de las cifras pueden no coincidir debido a redondeos y ajustes.

El balance consolidado del año 2009 para el Estado de Sonora, utilizando los factores de conversión expuestos anteriormente se muestra en la figura 6.20, al final de esta sección. Los balances energéticos de los años 2005-2008 se encuentran en el Anexo 1.

A partir de los resultados que se muestran en los balances consolidados se realizaron las gráficas que se presentan en esta sección y se calcularon los indicadores globales de la matriz energética. Además sirvieron de base para el cálculo de los indicadores en energía que se presentan más adelante, en la sección de *evaluación en energía del sistema energético sonorense*.

a) *Oferta de energía primaria*

La producción de energía primaria se limita a tres productos energéticos: hidroenergía, leña y carbón mineral. La estructura de esta producción energética se muestra en la figura 6.9. El total del valor de la producción se muestra en la tabla 6.29.

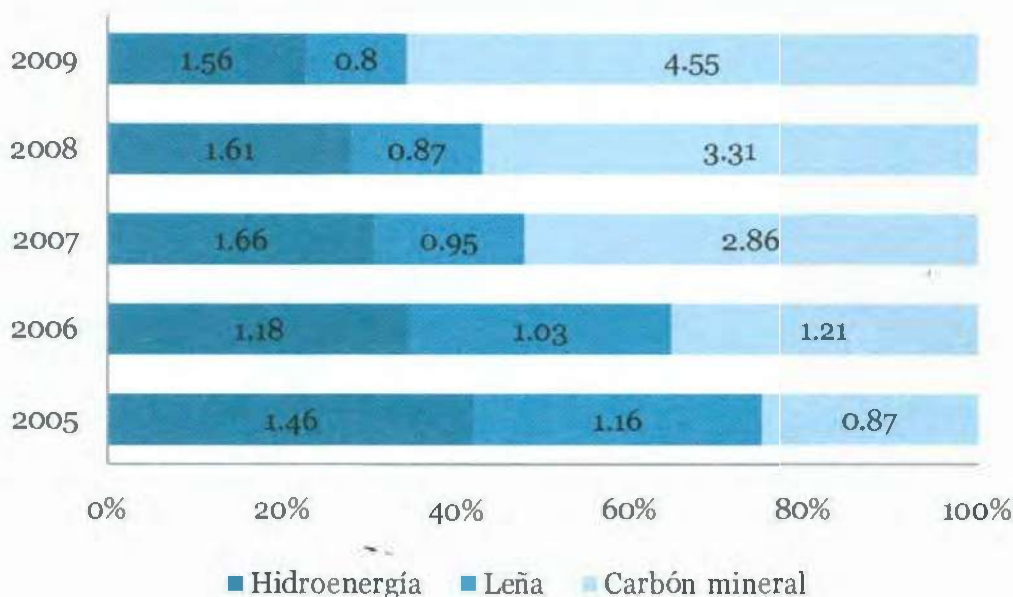


Figura 6.9. Estructura porcentual de producción de energía primaria, en PJ

Producción de energía PJ	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Total</b>	3.49	3.41	5.47	5.79	6.91

Tabla 6.29. Producción de energía primaria en Sonora en PJ (elaboración propia)

De la producción de energía primaria, la extracción total de carbón mineral (en su mayoría carbón antracítico) se consideró como exportación, por lo que no se considera como oferta energética para el estado. La importación de gas natural a Sonora completa la oferta de energía primaria. La estructura de la oferta bruta de energía primaria se muestra en la figura 6.10.

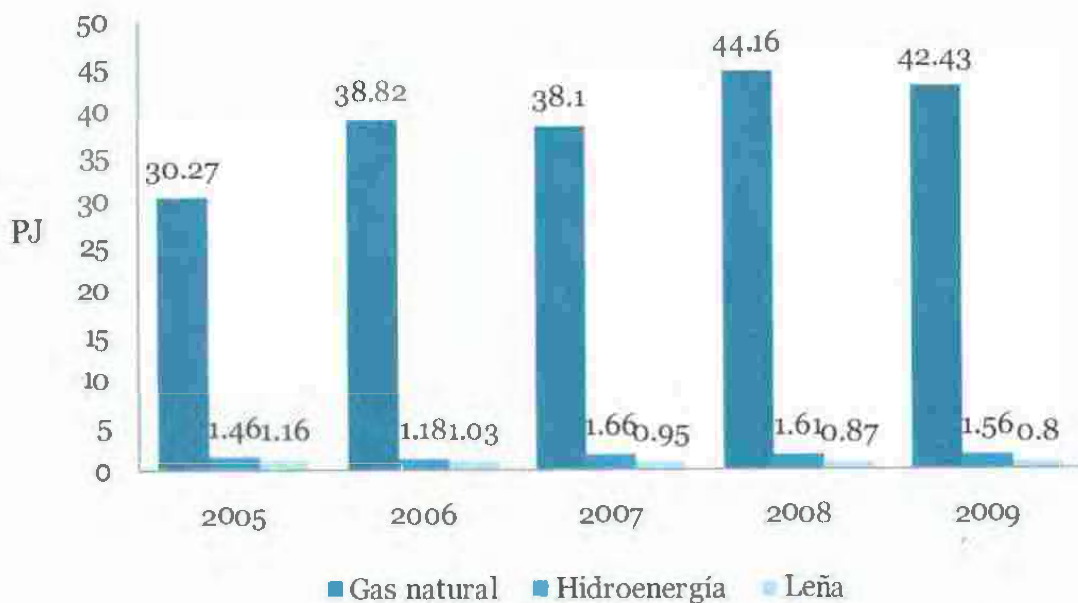


Figura 6.10. Estructura de la oferta bruta de energía primaria, en PJ.

Oferta de energía PJ	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Total</b>	32.89	41.02	40.71	46.64	44.79

Tabla 6.30. Oferta bruta de energía primaria en Sonora, en PJ (elaboración propia).

b) *Centros de transformación y oferta de energía secundaria.*

Como ya se pudo ver en la descripción del sistema energético, en el Estado de Sonora existen dos centros de transformación: las centrales eléctricas y las carboneras (para la producción de carbón vegetal). Los insumos de entrada a estos centros de transformación son tanto energías primarias como secundarias. A las centrales eléctricas entran hidroenergía y gas natural como energías primarias y, combustóleo y diesel como secundarias. A las carboneras entra leña, una energía primaria.

En la figura 6.11 se puede observar la estructura porcentual de los insumos (tanto primarios como secundarios) en las centrales eléctricas. En las tablas 6.31 y 6.32 se muestra la energía total de entrada y las pérdidas por transformación tanto en las centrales eléctricas como en las carboneras.

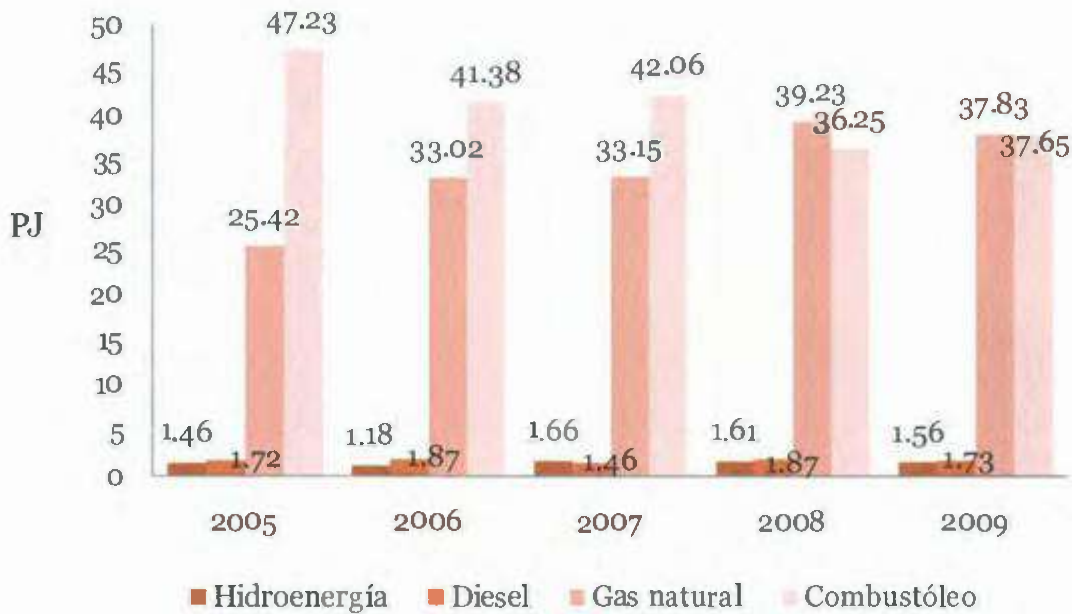


Figura 6.11. Estructura de los insumos a las centrales eléctricas, en PJ.

Centrales eléctricas, PJ	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Producción</b>	31.15	34.75	35.24	36.52	36.18
<b>Pérdidas</b>	39.77	37.79	38.37	38.09	38.41

Tabla 6.31. Producción total y pérdidas por transformación en centrales eléctricas, en PJ.

Carboneras, PJ	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Entrada total de leña</b>	1.14	1.00	0.92	0.85	0.78
<b>Producción</b>	0.69	0.60	0.56	0.51	0.47
<b>Pérdidas</b>	0.45	0.40	0.37	0.34	0.31

Tabla 6.32. Producción total y pérdidas por transformación en carboneras, en PJ.

Como ya se mencionó en la descripción del sistema energético, en México la producción local de energía eléctrica es insertada en el sistema eléctrico nacional, por lo tanto, cualquier falta o sobra de electricidad en comparación con la demanda local es nivelada

por medio de importación o exportación desde otras entidades de la república. En la tabla 6.33 se muestra la exportación de energía eléctrica en Sonora.

Electricidad, PJ	2005	2006	2007	2008	2009
Exportación	0	1.82	0.78	2.74	3.19

Tabla 6.33. Exportación de electricidad, en PJ.

La oferta de energía secundaria en Sonora es más diversa debido a la cantidad de petrolíferos utilizados en la entidad y que son importados desde el interior de México y otros países. En la figura 6.12 se muestra la composición porcentual de la oferta de energía secundaria y en la tabla 6.34, se presentan los valores totales para el periodo de estudio.

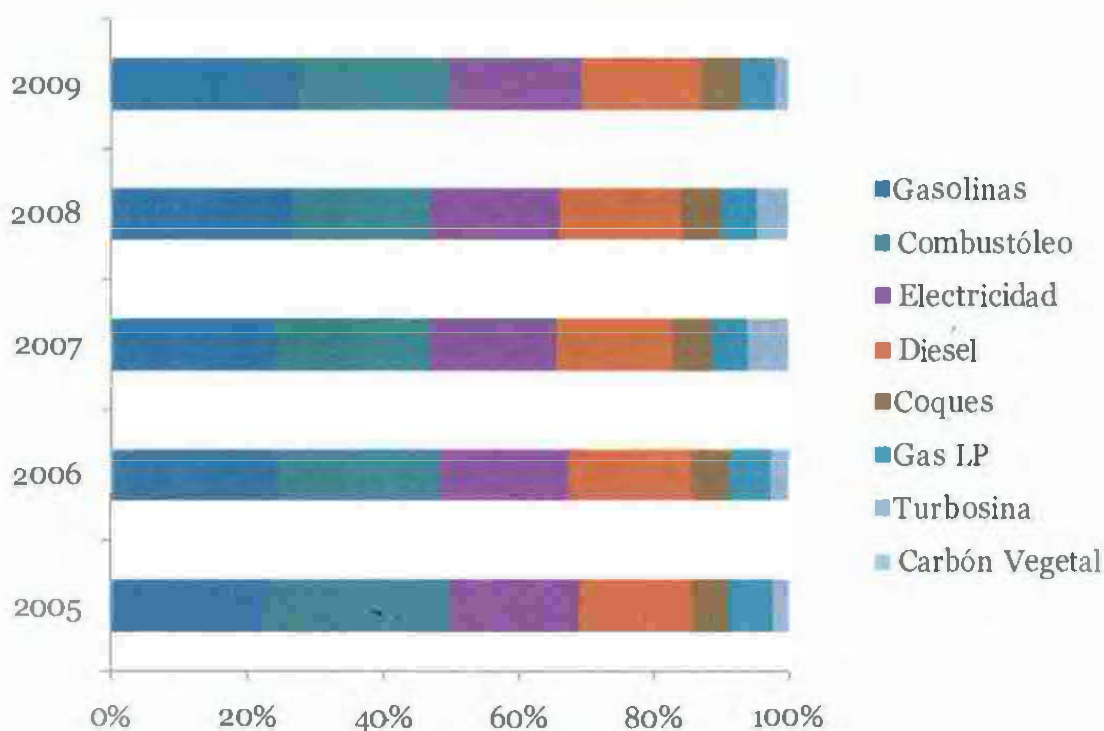


Figura 6.12. Oferta bruta de energía secundaria en Sonora (elaboración propia).

\*Nota: se incluyen importaciones de electricidad.

Oferta de energía, PJ	2005	2006	2007	2008	2009
Total	172.44	172.76	185.23	176.63	168.36

Tabla 6.34. Oferta bruta de energía secundaria en Sonora, en PJ.



c) Consumo energético final

Los sectores de consumo en el balance energético se clasificaron en: sector transporte, sector industrial, sector residencial, sector comercial y sector agrícola. La estructura porcentual del consumo energético final en cada sector se muestra en la figura 6.13 y en la tabla 6.35 se presentan los totales del consumo energético en Sonora.

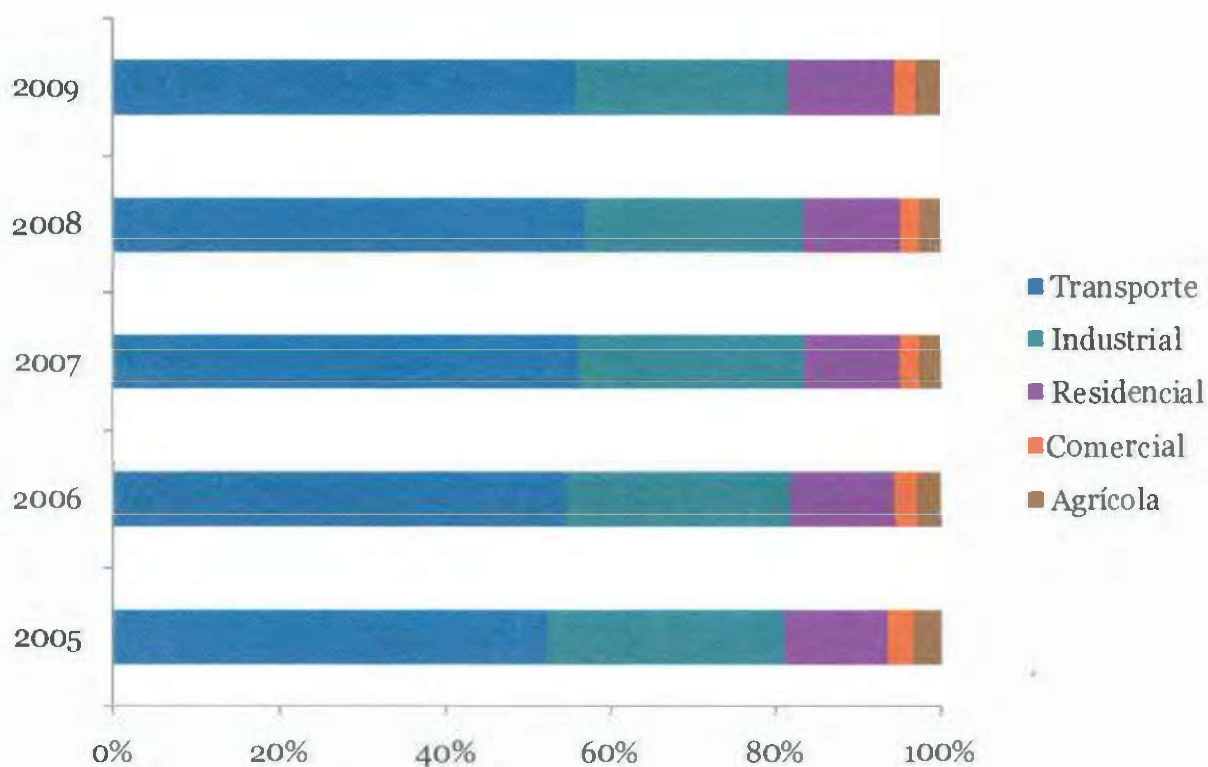


Figura 6.13. Consumo energético final en Sonora por sectores (elaboración propia).

Consumo energético PJ	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Total</b>	124.8	128.94	143.02	142.75	132.02

Tabla 6.35. Consumo energético final en el Estado de Sonora, en PJ.

El consumo de cada sector considerado por este estudio se muestra en las siguientes figuras. En la figura 6.14 se muestra la estructura porcentual del consumo del sector transporte; en la figura 6.15 la del sector industrial y minería; en la figura 6.16 la del sector residencial; en la figura 6.17 del sector comercial y en la figura 6.18 la del sector agrícola.

En ellas se pueden observar el tipo de energéticos que se utilizan por sector. Además en la tabla 6.36 se presentan los consumos totales por sector en el periodo de estudio.

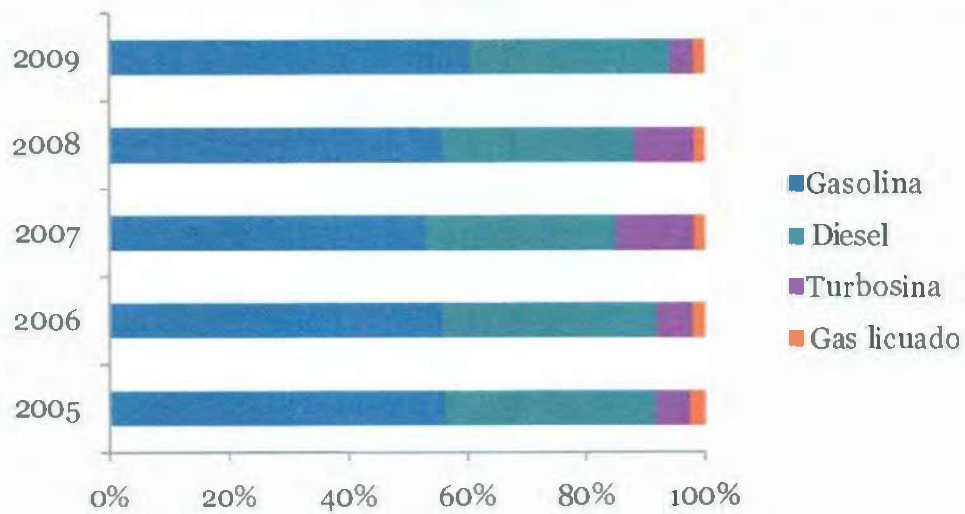


Figura 6.14. Estructura porcentual del consumo energético en el sector transporte.

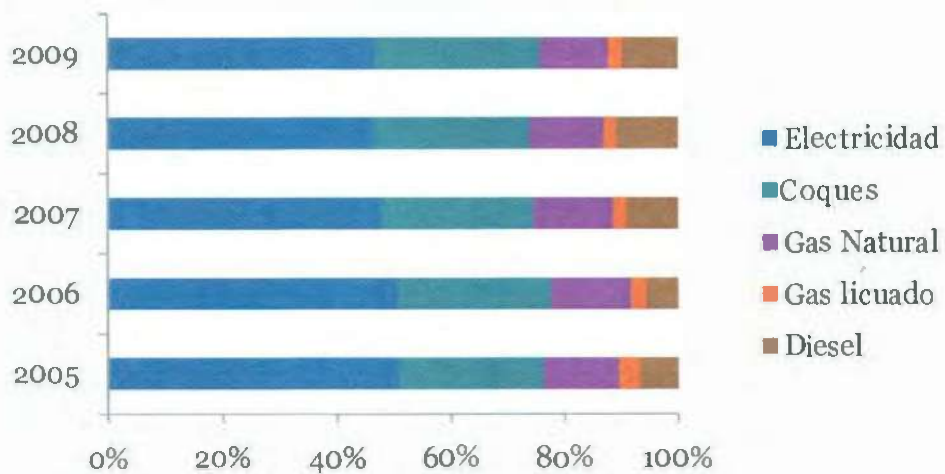


Figura 6.15. Estructura porcentual del consumo energético en el sector industrial/minero.

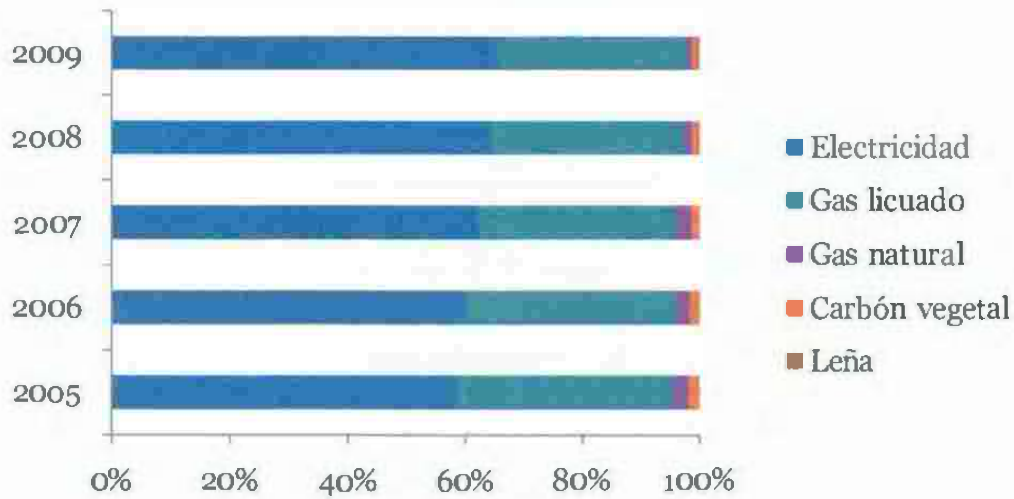


Figura 6.16. Estructura porcentual del consumo energético en el sector residencial

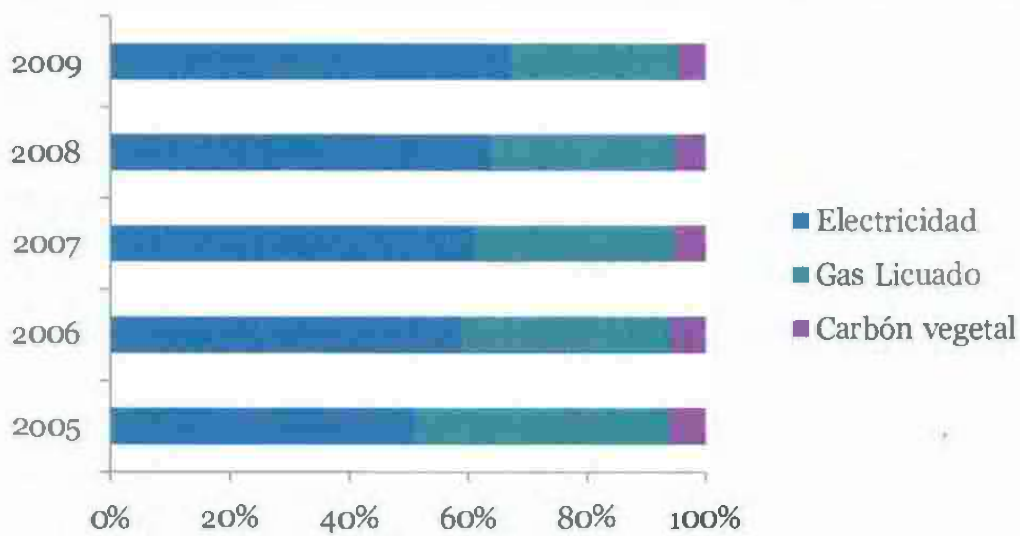


Figura 6.17. Estructura porcentual del consumo energético en el sector comercial

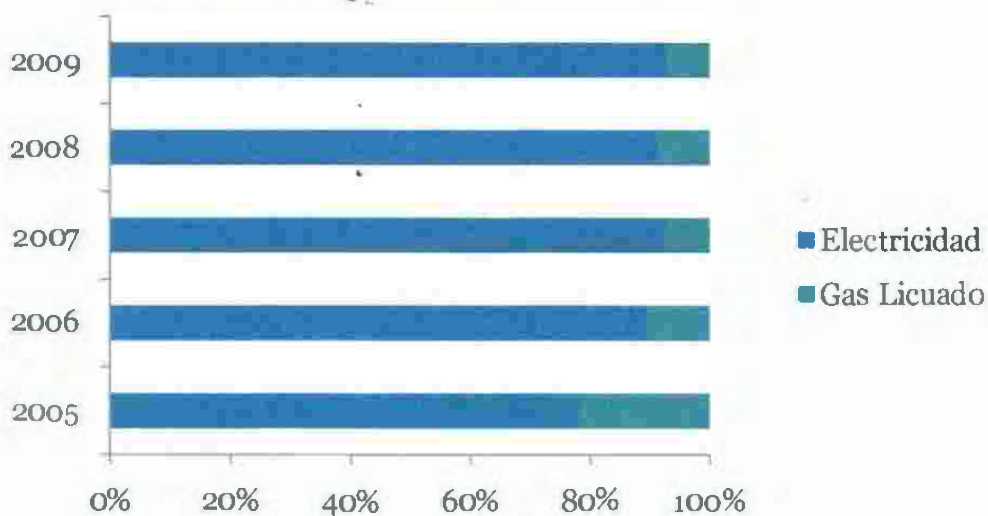


Figura 6.18. Estructura porcentual del consumo energético en el sector agrícola.

Consumo de energía	2005	2006	2007	2008	2009
Sector Transporte	65.19	70.22	80.01	81.12	73.49
Sector Industrial/Minero	35.9	35.19	39.33	37.91	34.1
Sector Residencial	15.59	16.3	16.54	16.65	16.89
Sector Comercial	3.96	3.58	3.48	3.4	3.59
Sector Agrícola	4.16	3.65	3.66	3.67	3.94

Tabla 6.36. Consumos totales por sector en Sonora, en PJ.

La estructura del consumo final total por tipo de energético se muestra en la figura 6.19.

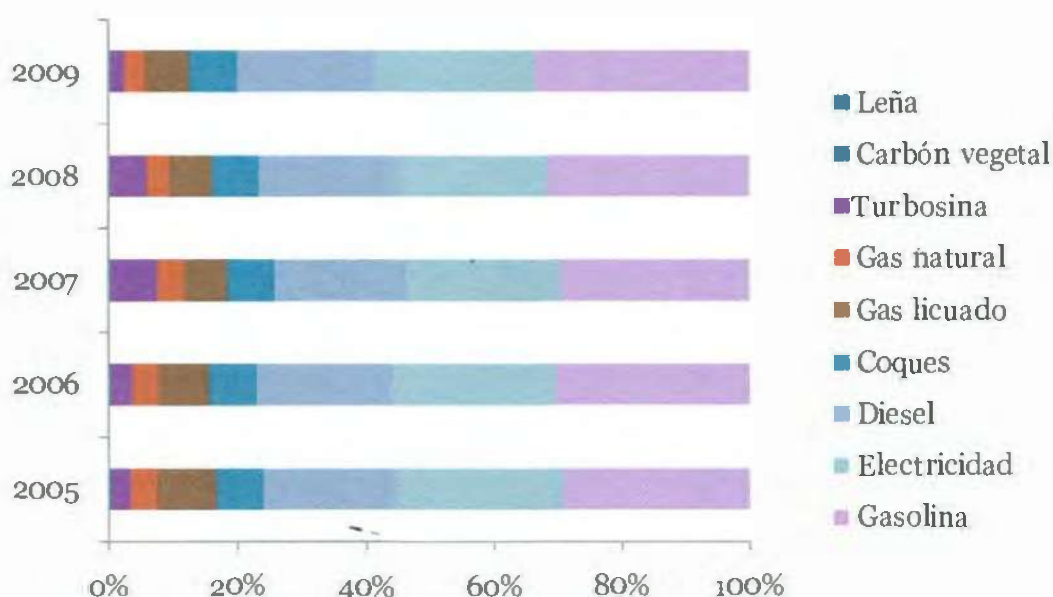


Figura 6.19. Estructura del consumo final total por tipo de energético.

#### d) Indicadores globales

Los indicadores globales, cuyas características ya fueron explicadas en la sección de metodología, que fueron calculados fueron el Consumo ENERGético per Cápita (CENEPC), Consumo ELÉctrico per Cápita (CELEPC), Oferta Bruta Total (OBT), Consumo Neto Total (CNT), Eficiencia Aparente, siendo la división entre CNT y OBT (EFA) y grado de independencia I°, que nos dice el grado de soberanía energética del sistema. Los resultados se presentan en la tabla 6.37 para el periodo de estudio.

<b>Indicadores globales</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>CENEPC (GJ/hab)</b>	46.87	48.43	53.72	53.62	49.59
<b>CELEPC (KWh/hab)</b>	3,391	3,411	3,567	3,497	3,478
<b>OBT (PJ)</b>	172.44	172.76	185.23	176.63	168.36
<b>CNT (PJ)</b>	124.8	128.94	143.02	142.75	132.02
<b>EFA (%)</b>	74	76	77	78	76
<b>I° (%)</b>	2	1.9	2.9	3.3	4.1

Tabla 6.37. Indicadores globales (elaboración propia).

ACTIVIDAD	ENERGÍA PRIMARIA					ENERGÍA SECUNDARIA							TOTAL Secundarias	TOTAL	
	Hydroenergía	Leña	Carbón mineral	Gas Natural	Total primaria	Electricidad	Gas Licuado de Petróleo	Gasolina	Diesel (Gas-Oil)	Combustibles (Fuel Oil)	Turbinas	Coques y (petróleo y carbón)			Carbón vegetal
Producción	1.56	0.80	4.55		6.91	36.18							0.47	36.65	43.56
Importación desde fuera del país	0.00	0.00	0.00	42.43	42.43	0.10	8.74	46.80	29.84	37.65	3.17	9.88	0.00	136.38	178.61
Importación desde dentro del país				42.43	42.43	0.10	8.74	6.94	6.23	13.81	0.00	9.88		45.70	88.13
Exportación			4.55		4.55	0.00		39.86	23.61	23.84	3.17		0.12	90.48	90.48
Variación de inventario					0.00	3.19								3.31	7.86
No aprovechado					0.00			-0.75	-0.21	0.00	-0.21			-1.17	-1.17
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>1.56</b>	<b>0.80</b>	<b>0.00</b>	<b>42.43</b>	<b>44.79</b>	<b>33.09</b>	<b>8.74</b>	<b>46.04</b>	<b>29.64</b>	<b>37.65</b>	<b>2.97</b>	<b>9.88</b>	<b>0.35</b>	<b>168.26</b>	<b>213.15</b>
Centrales Eléctricas	-1.56			-37.83	-39.39	36.02			-1.30	-37.65				36.02	-42.32
Autoprodutores					0.00	0.16			-0.43					0.16	-0.28
Carbonera		-0.78			-0.78							0.47		0.47	-0.31
Coquería/Alto Hornos					0.00									0.00	0.00
Otros centros				-0.31	-0.31									0.00	0.00
<b>TRANSFORMACIÓN TOTAL</b>	<b>-1.56</b>	<b>-0.78</b>	<b>0.00</b>	<b>-38.14</b>	<b>-40.49</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-1.73</b>	<b>-37.65</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-39.38</b>	<b>-43.22</b>
Consumo propio					0.00	0.02								0.02	0.02
Pérdidas (transmisión y distribución)					0.85	0.66								0.66	1.51
Ajuste	0.00	0.00	0.00	-0.81	-0.81	-0.67	-0.28	1.60	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	-0.27
Transporte					0.00		1.39	44.44	24.70		2.96			73.49	73.49
Industria, minería				4.08	4.08	15.91	0.91							30.02	34.10
Residencial		0.02		0.17	0.19	11.10	5.42		3.32			9.88		14.71	16.89
Comercial, servicios públicos					0.00	2.41	1.02						0.16	3.59	3.59
Agro, pesca, minería					0.00	3.65	0.25							3.94	3.94
Construcción, otros					0.00									0.00	0.00
<b>Consumo energético</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>4.25</b>	<b>4.26</b>	<b>33.08</b>	<b>9.02</b>	<b>44.44</b>	<b>28.03</b>	<b>0.00</b>	<b>2.96</b>	<b>9.88</b>	<b>0.35</b>	<b>127.76</b>	<b>132.02</b>
No energético					0.00									0.00	0.00
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>4.25</b>	<b>4.26</b>	<b>33.08</b>	<b>9.02</b>	<b>44.44</b>	<b>28.03</b>	<b>0.00</b>	<b>2.96</b>	<b>9.88</b>	<b>0.35</b>	<b>127.76</b>	<b>132.02</b>
<b>Perdidas transformadas</b>															

Figura 6.20. Balance energético del Estado de Sonora 2009

## 6.4 Evaluación en *energía* del sistema energético sonorense

La contabilidad en energía del sistema energético de Sonora se basó en los datos del consumo. Se tomaron en cuenta los energéticos principales consumidos en el estado: gas natural, gasolina, turbosina, diesel, combustóleo, gas LP, y la energía eléctrica generada por termoeléctrica, ciclo combinado (gas natural) e hidroeléctrica.

Reiterando la definición, la energía es “la cantidad de energía solar directa o indirecta que es necesaria para obtener algún producto o servicio por cierto tipo de proceso”, y los indicadores utilizados para describir un sistema son: rendimiento en energía (EYR), inversión de energía (EIR), impacto ambiental (ELR) y la sustentabilidad en energía (SI). Esto se hizo utilizando las transformidades expuestas y a partir del consumo energético del estado.

Para una visualización y comunicación más inmediata y clara se utilizó el diagrama ternario en energía desarrollado por Giannetti et al (2006), explicado anteriormente.

### 6.4.1 Indicadores de sustentabilidad basados en energía

Los indicadores en energía citados (EYR, EIR, ELR y SI) en el año 2009 para el sistema energético en el estado de Sonora se muestran en la tabla 6.38.

Indicadores en energía	EYR	EIR	ELR	SI
Sonora, 2009	6.66	0.17	27.57	0.3

Tabla 6.38. Indicadores en energía para el sistema energético de Sonora en el 2009.

### 6.4.2 Resultados en el diagrama ternario

Los resultados en el diagrama ternario de energía se muestran en la figura 6.21. Esta gráfica nos muestra el estado actual de la evaluación en energía del sistema energético sonorense. En el diagrama se incluyen los indicadores en energía y la contribución por elemento (área del punto) para los productos energéticos más fuertes en la matriz energética del estado: gasolina, gas natural, diesel, gas licuado, turbosina y electricidad (termoeléctrica, ciclo combinado, hidroeléctrico y otras plantas). El combustóleo, el gas

natural y el diesel que son utilizados para generar electricidad no están incluidos en esta evaluación para evitar dobles conteos.

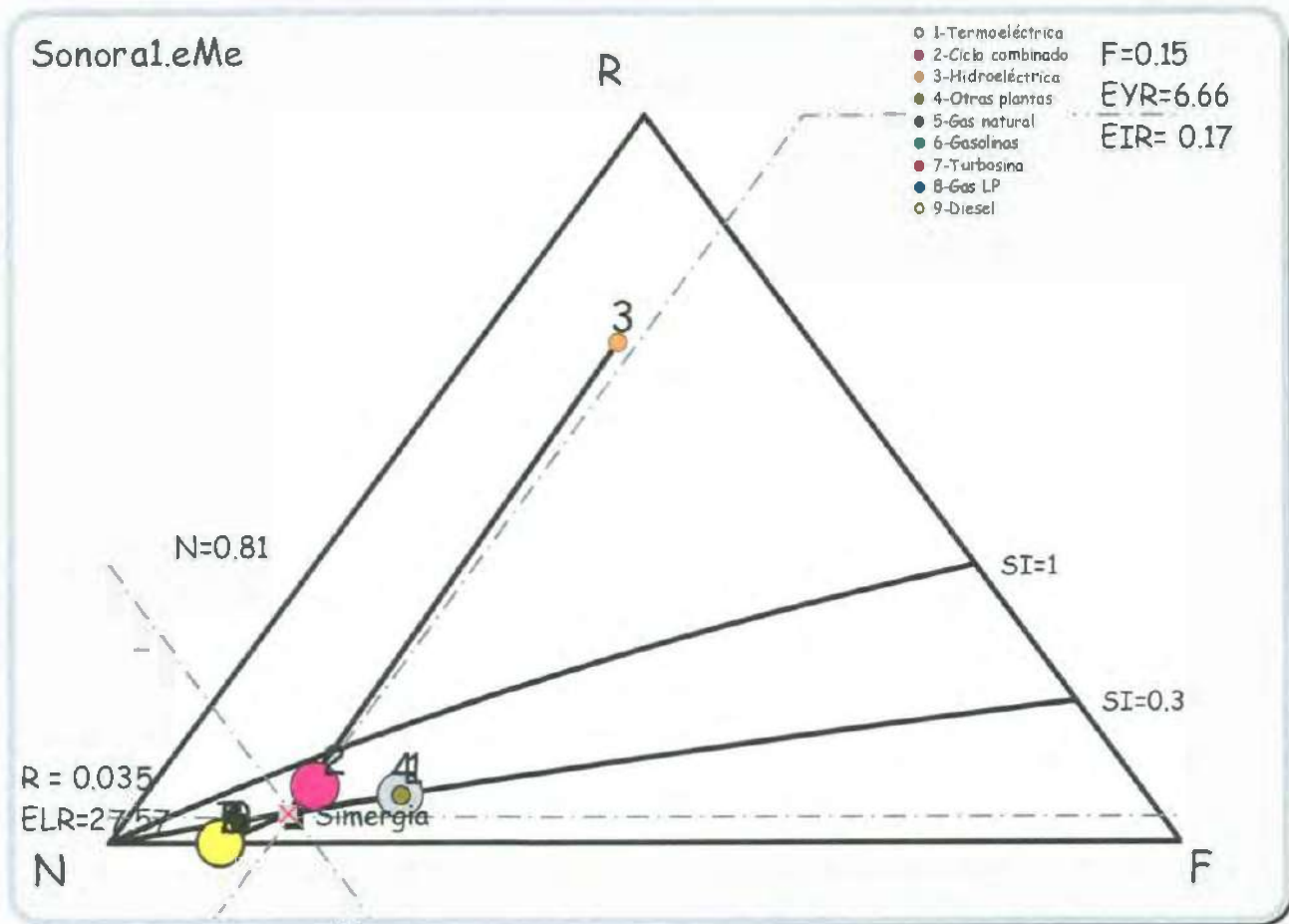


Figura 6.21. Diagrama ternario en energía para el sistema energético sonorenses.

Como ya se explicó en la *metodología*, entre la base del triángulo equilátero y la primera línea de sustentabilidad ( $SI=1$ ) se encuentran los sistemas insustentables a corto plazo, siendo esta área en la que se encuentra el sistema energético del Estado de Sonora ( $SI=0.3$ ). Entre la primera y la segunda línea de sustentabilidad ( $1 < SI < 5$ ) se encuentran los sistemas sustentables al mediano plazo y de la segunda línea de sustentabilidad a la punta del triángulo se encuentran los sistemas con sustentabilidad a largo plazo.

Para realizar las propuestas de escenarios energéticos más sustentables (en el punto de vista de la evaluación en energía) el estudio se enfocó en el sector eléctrico debido a que se consideró como un opción más viable para conseguir cambios en el mediano plazo.

Antes de analizar los planteamientos para mejorar la sustentabilidad del sistema eléctrico de Sonora veremos el resultado en el diagrama ternario de *energía* para solo este sector sin incluir los petrolíferos ni el gas natural. El resultado se muestra en la figura 6.22 y los indicadores en energía en la tabla 6.39.



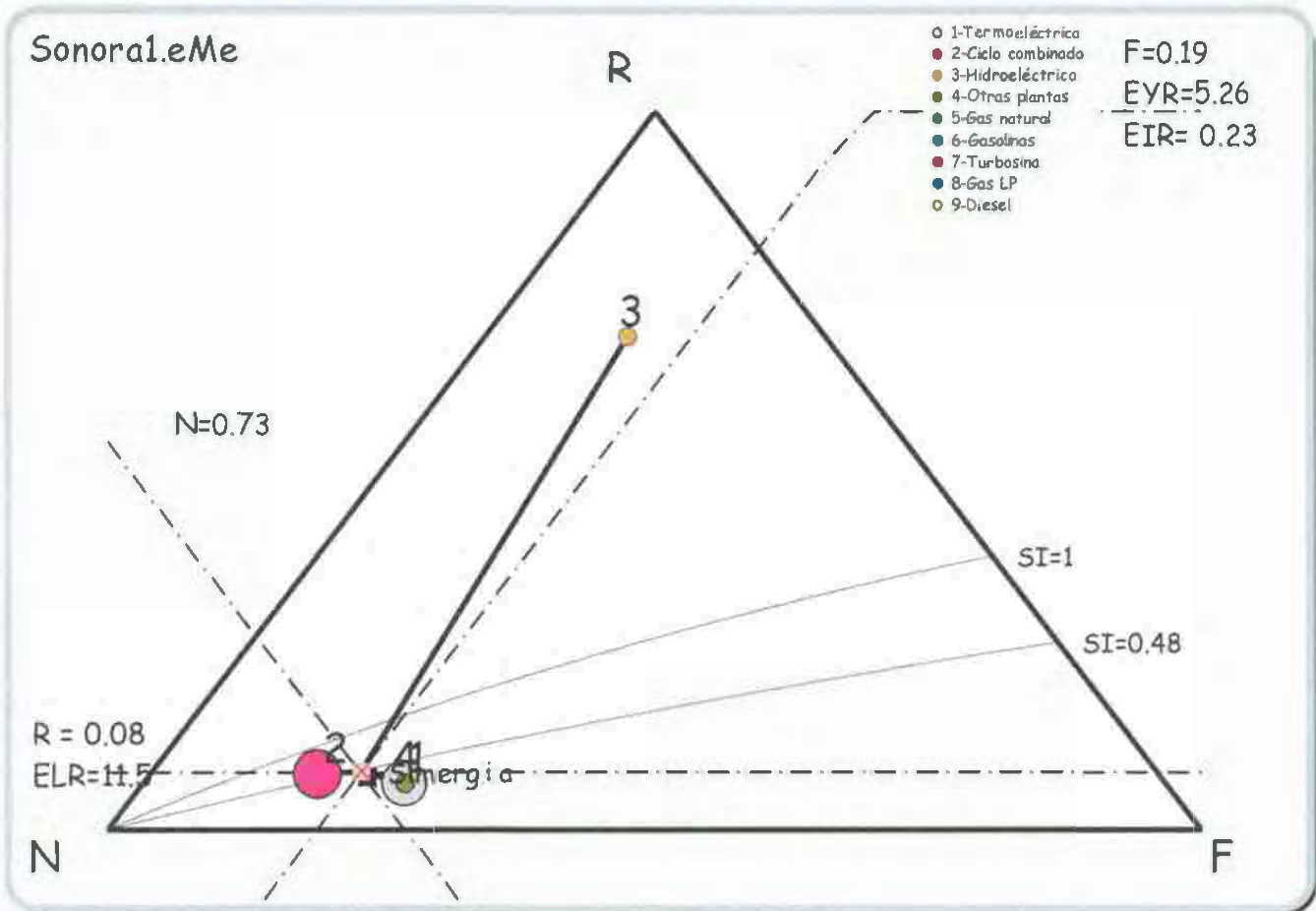


Figura 6.22. Representación del diagrama ternario y punto simergético del sector eléctrico.

Indicadores en energía	EYR	EIR	ELR	SI
Sector eléctrico, 2009	5.26	0.23	11.5	0.48

Tabla 6.39. Indicadores en energía para el sector eléctrico.

Como un ejercicio académico, para trasladar el punto de sector eléctrico sonorense a un área más sustentable dentro del diagrama ternario se realizaron primero dos propuestas (las horas equivalentes de funcionamiento de las plantas fue obtenida del Plan de Energías Renovables para España 2005-2010):

1. Construcción de una o varias plantas termosolares con una capacidad efectiva de 500MW y 2596 horas equivalentes de funcionamiento (al año).
2. Construcción de uno o varios parques eólicos con una capacidad efectiva de 500MW y 2350 horas equivalentes de funcionamiento (al año).

La tecnología termosolar es la que utiliza concentradores de radiación solar para crear el calor necesario para generar electricidad (ya sea por medio de heliostatos o de canales

parabólicos) y la tecnología eólica es la que utiliza aerogeneradores para el mismo fin. Estas propuestas no están analizadas en forma de escenarios ya que no se consideró ningún parámetro distinto al indicador de sustentabilidad en energía que ya se mostró, por lo tanto éstos son planteamientos enfocados a mostrar el funcionamiento del diagrama ternario y los indicadores en energía como herramientas para evaluar alternativas energéticas y no como escenarios válidos para realizar una prospectiva seria. En la figura 6.23 se muestra el punto simergético del sistema eléctrico de Sonora en el 2009 agregando la propuesta 1. En la tabla 6.40 se presentan los indicadores en energía de esta propuesta.

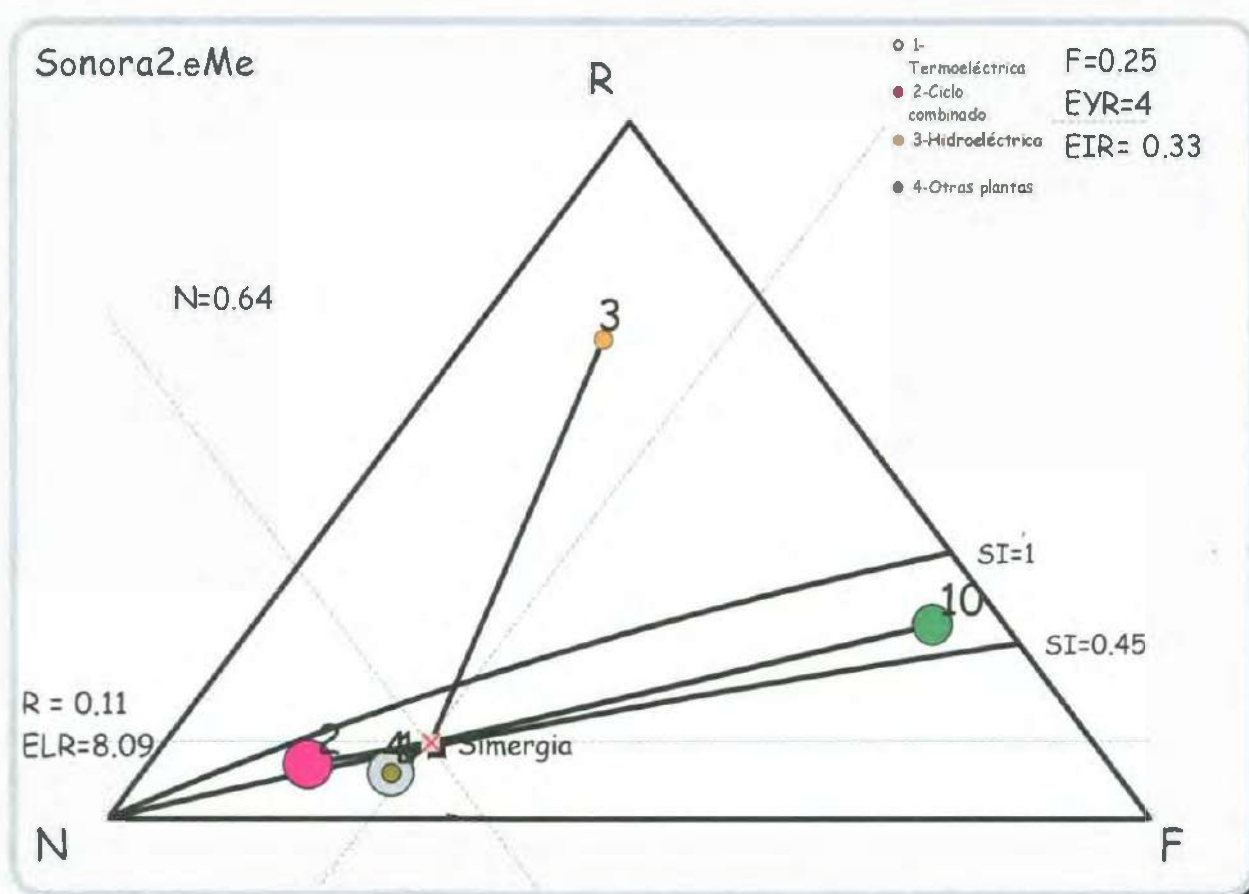


Figura 6.23. Representación en el diagrama ternario de energía del sistema eléctrico de Sonora agregando la propuesta 1.

Indicadores en energía	EYR	EIR	ELR	SI
Sector eléctrico, 2009	4	0.33	8.09	0.45

Tabla 6.40. Indicadores en energía con la propuesta 1.

Para observar qué pasaría con una contribución equiparable a la aportación al sistema eléctrico de las termoeléctricas se realizó la misma representación en el diagrama ternario de energía, pero en este caso con una producción de energía eléctrica por fuente termosolar igual a la producción por termoeléctrica en el 2009 que fue de 12.7 PJ. Para que esto sucediera se necesitaría una capacidad efectiva de 1359 MW de tecnología termosolar. Los resultados se muestran en la figura 6.24 y los indicadores en la tabla 6.41.

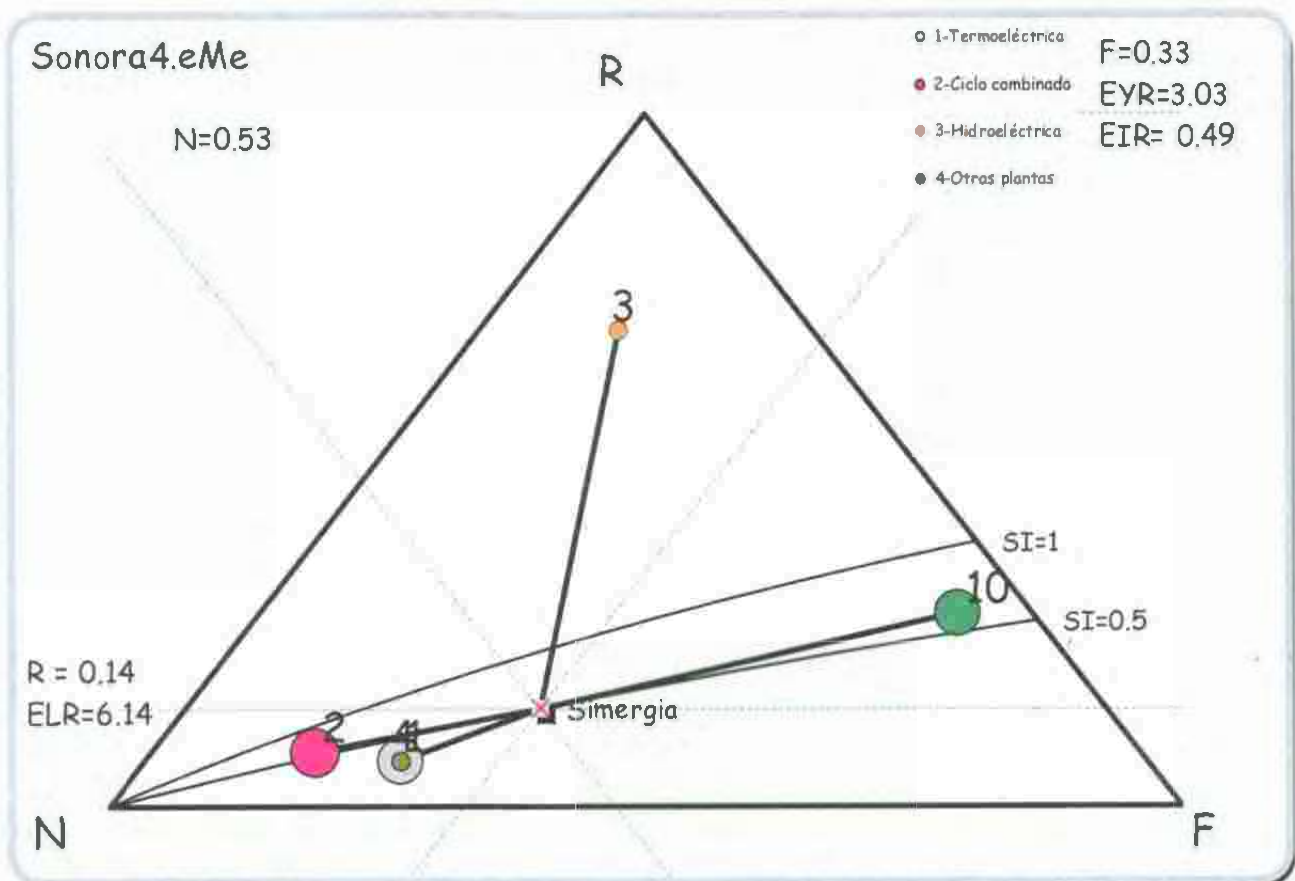


Figura 6.24. Representación en el diagrama ternario. Producción termosolar igual a la producción por termoeléctrica.

Indicadores en energía	EYR	EIR	ELR	SI
Sector eléctrico, 2009	3.03	0.49	6.14	0.5

Tabla 6.41. Indicadores en energía del sistema eléctrico con producción termosolar igual a la producción por termoeléctrica.

Los resultados en el diagrama ternario para la propuesta 2 se muestran en la figura 6.25 y los indicadores en la tabla 6.42. El sistema eléctrico de Sonora se mantiene en la misma

configuración que el año 2009 y se le agrega una producción de electricidad por fuente eólica de uno o varios parques de aerogeneradores con una capacidad efectiva total de 500 MW.

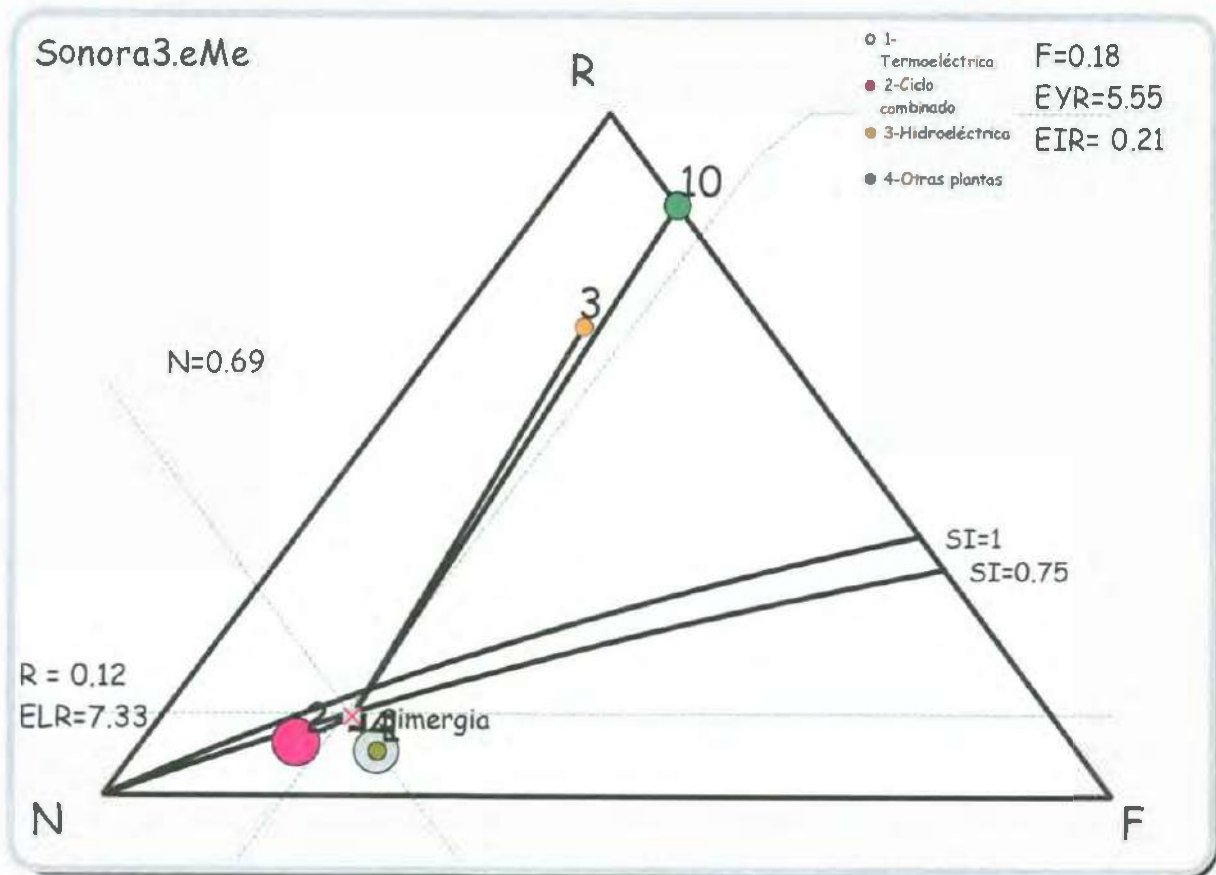


Figura 6.25. Representación del diagrama ternario del sistema eléctrico sonorensé más la propuesta 2.

Indicadores en energía	EYR	EIR	ELR	SI
Sector eléctrico, 2009	5.55	0.21	7.33	0.75

Tabla 6.42. Indicadores en energía de la propuesta 2.

También para este caso se revisó un aumento de la capacidad efectiva de producción por fuente eólica tal (1501 MW) que fuera igual a la que se produjo por fuente termoeléctrica en el 2009 que fue de 12.7 PJ. En la tabla 6.43 se muestran los resultados para los indicadores en energía de este planteamiento y en la figura 6.26 se muestra la representación en el diagrama ternario de energía.

Indicadores en energía	EYR	EIR	ELR	SI
Sector eléctrico, 2009	5.55	0.21	4.88	1.1

Tabla 6.43. Indicadores en energía de la propuesta 2 con producción eólica igual a la producción por termoeléctrica.

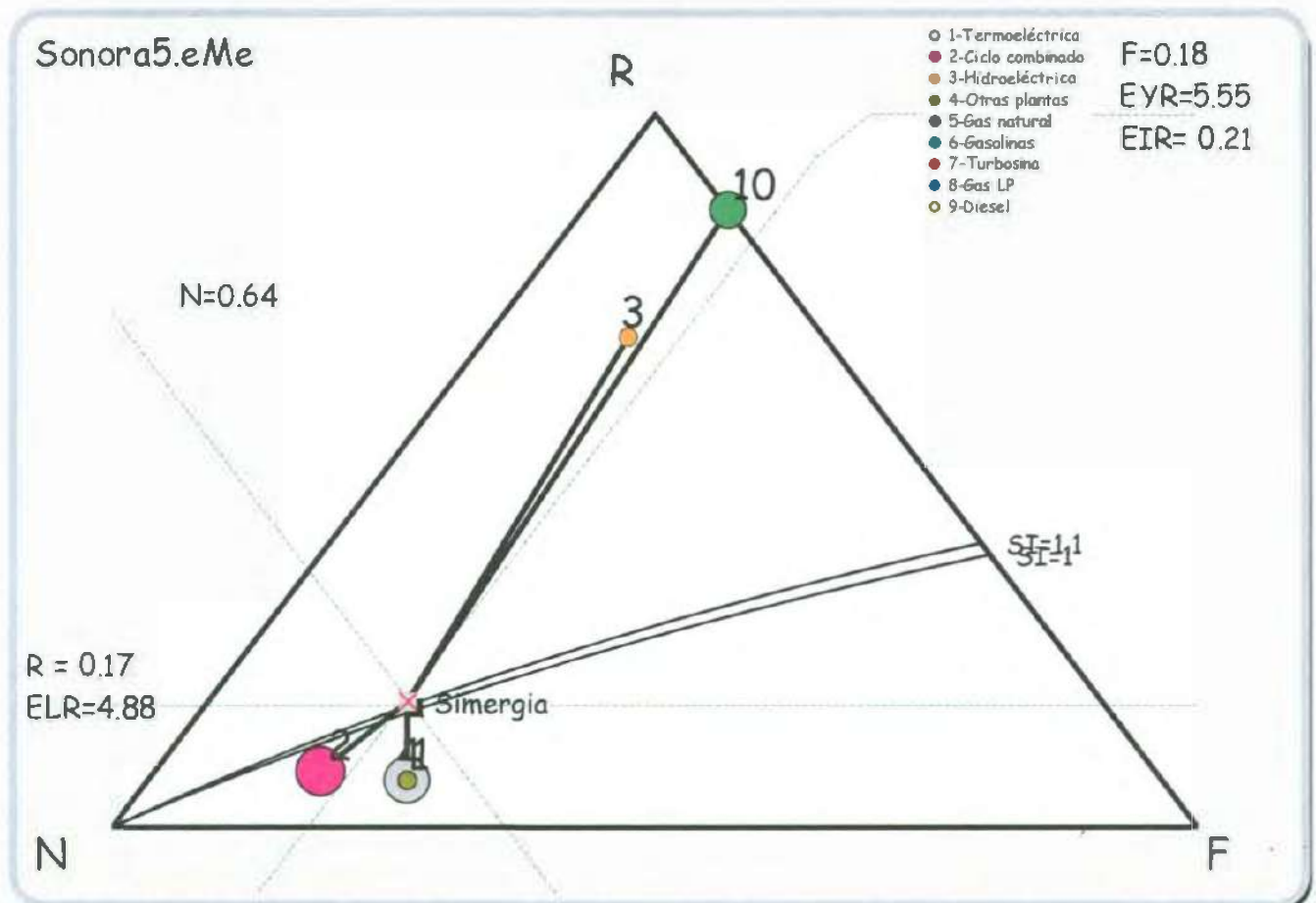


Figura 6.26. Representación en el diagrama ternario de la propuesta 2 con una producción eólica igual a la producción por termoeléctrica.

## VII. Discusión

### 7.1 Oferta, transformación y demanda de energía

Los resultados del balance energético estatal con respecto a la oferta de energía primaria muestran un aumento considerable del 2005 al 2009 debido principalmente al aumento de las importaciones de gas natural (véase la figura 6.10, en la sección anterior). En la tabla 7.1 se muestran las variaciones porcentuales. Este comportamiento se debe al fomento nacional de la tecnología de ciclo combinado en el sector eléctrico (SENER, 2010).

<b>Gas natural</b>	<b>2005-2006</b>	<b>2006-2007</b>	<b>2007-2008</b>	<b>2008-2009</b>
<b>Variación porcentual de importaciones</b>	28.2%	-1.8%	15.9%	-3.9%

Tabla 7.1. Variaciones porcentuales de las importaciones de gas natural en Sonora.

Además el combustóleo se ha reducido debido a la política nacional que tiene el objetivo de mudar las tecnologías de generación a nivel nacional a otras más limpias y eficientes como el ciclo combinado. Aunque la disminución ha sido sensible, todavía existe una fuerte dependencia del combustóleo pesado, que es altamente ineficiente y, en años anteriores, ha sido la principal causa de emisiones de gases de efecto invernadero en Sonora (Maytorena, 2010). Las variaciones a la baja en el consumo de combustóleo para la generación de energía eléctrica se muestran en la tabla 7.2.

El intercambio entre el alto uso de combustóleo a la dependencia de gas natural totalmente importado, es particularmente delicado para Sonora a causa de la volatilidad en los precios de hidrocarburos que se deriva de su escasez a nivel mundial (Llamas, et al. 2004), situación que ya fue introducida en la sección 4.1 de este trabajo.

<b>Combustóleo</b>	<b>2005-2006</b>	<b>2006-2007</b>	<b>2007-2008</b>	<b>2008-2009</b>
<b>Variación porcentual de consumo</b>	-12%	1.6%	-14%	3.8%

Tabla 7.2. Variaciones porcentuales del consumo de combustóleo en Sonora.

Además del abastecimiento de electricidad, la oferta de energía secundaria, como sucede en los balances energéticos alrededor del mundo, está dominada por los productos derivados del petróleo y entre ellos se encuentra la mercancía energética que representa la mayor contribución a la matriz general, la gasolina. También es importante la aportación del diésel. La tabla 7.3 muestra la variación en el consumo de gasolina y diésel.

Variación porcentual de consumo	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
<b>Gasolina</b>	7.1%	8.1%	6.8%	-1.7%
<b>Diésel</b>	6.6%	5.4%	4.8%	-7.6%

Tabla 7.3. Variaciones porcentuales del consumo de gasolina y diésel en Sonora.

Los resultados en cuanto al consumo final presentan tendencias similares a las que se observan a nivel nacional: el sector transporte como primer consumidor de energía, seguido del sector industrial y después del residencial. Asimismo, los tres energéticos principales en el consumo final sectorial en Sonora son, al igual que la estadística nacional, la gasolina, la electricidad y el diésel; aunque con diferente jerarquía. En la tabla 7.4 se presenta la comparación entre porcentajes nacionales y estatales en el año 2008.

Energéticos en Sonora	Porcentaje	Energéticos en México	Porcentaje
<b>Gasolina</b>	31.1	<b>Gasolina</b>	33.4
<b>Electricidad</b>	23.2	<b>Diésel</b>	16.9
<b>Diésel</b>	20.9	<b>Electricidad</b>	13.8
<b>Coques (petróleo y carbón)</b>	9.0	<b>Gas natural</b>	9.8
<b>Gas licuado</b>	6.3	<b>Gas licuado</b>	9.4
<b>Gas natural</b>	3.5	<b>Leña</b>	5.1
<b>Turbosina</b>	5.6	<b>Coque de petróleo</b>	4.0
<b>Carbón vegetal</b>	0.2	<b>Turbosina</b>	2.7
<b>Leña</b>	0.01	<b>Bagazo de caña</b>	2.0

Tabla 7.4. Comparación entre el consumo energético nacional y estatal, año 2008.

## **7.2 Indicadores globales del sistema energético de Sonora**

Según los indicadores globales calculados a partir de los resultados del balance energético Sonora cuenta con un consumo energético per cápita en el año 2008 de 53.62 GJ/hab lo que lo ubica muy por debajo del 79.47 nacional presentado en el Balance Nacional de Energía 2008 de la SENER colocando a Sonora con una aportación moderada al consumo final nacional.

Es de resaltar, que tanto los valores de consumo energético a nivel nacional como estatal disminuyeron del año 2008 al 2009 (SENER, 2009) lo que demuestra una tendencia nacional que en Sonora agudiza una caída en la productividad estatal después de un incremento importante en el 2006. Después de ese año la economía sonorenses se ha mostrado ineficiente (véase la figura 6.3).

A diferencia del consumo energético per cápita, Sonora se encuentra muy por encima de la media nacional en cuanto al consumo eléctrico per cápita: 3,567 kwh/hab (año 2007) en el caso estatal frente a 2,036 kwh/hab (año 2007) en el caso nacional (Banco Mundial, 2011). Lo anterior se debe a que los consumos de electricidad en el estado son altos en comparación con la baja densidad poblacional que lo caracteriza.

Sonora no es independiente energéticamente, como lo demuestra su bajo grado de independencia (véase tabla 6.37). La baja producción de energía primaria en el estado y su alta dependencia de productos energéticos importados de otros países (principalmente el gas natural) presentan un gran reto al mediano plazo para la sustentabilidad energética de la entidad. Debido a esto es importante revisar el potencial para la explotación de energías renovables en Sonora donde existe una gran extensión litoral que puede ser explorada con fines de explotación de energía eólica y una radiación solar equiparable o mejor que países que ya han incorporado tecnologías termosolares y fotovoltaicas en su red eléctrica (España p.ej.).

## **7.3 Indicadores y diagrama ternario en energía**

El rendimiento en energía (EYR) es una indicación de capacidad de un proceso de producir beneficios con recursos gratuitos, es decir, ambientales. Por ejemplo, en el caso del sistema energético sonorenses, se producen beneficios en base a recursos ambientales gratuitos como el petróleo, el agua de enfriamiento en plantas eléctricas, la energía hidráulica, etcétera. Aunque los derivados del petróleo necesitan un



procesamiento que se paga, siempre será mayor la energía necesaria para producir el petróleo mismo debido a la gran cantidad de tiempo (cientos de siglos) y recursos necesarios para que una pequeña cantidad de petróleo pueda existir. Por lo tanto, a causa de que el sistema energético sonoreense es casi por completo dependiente de productos derivados del petróleo que todavía son económicamente muy competitivos (y que de hecho regulan la economía global), el rendimiento en energía  $EYR = (F+N+R)/F$  es bueno en comparación con lo que se encontró en la literatura (Brown, Ulgiati, 2002; Odum, 1995) siendo 6.66 para el sistema energético y 5.26 para el sistema eléctrico, ambos datos para el 2009.

En las dos propuestas realizadas con energías renovables (termosolar y eólica) el rendimiento empeora debido a que son tecnologías que aun no son competitivas en una economía basada en el petróleo, como ya se mencionó en el análisis literario realizado. Los rendimientos en energía para la propuesta 1 (termosolar) oscilan entre 4 (capacidad de 500 MW) y 3.03 (capacidad de 1359 MW) y para la propuesta 2 (eólica) fue de 5.55 en ambos casos (500 MW y 1501 MW), esto demuestra, desde el punto de vista de la evaluación en energía, que la tecnología termosolar se encuentra muy lejos de ser competitiva en comparación con los parques eólicos.

El índice de carga ambiental  $ELR = (N+F)/R$ , nos da una valoración de la cantidad de energía que se compra y se obtiene de fuentes ambientales no renovables frente a la que se obtiene de fuentes renovables, y por lo tanto más amigables con el medio ambiente. En el sistema energético sonoreense este indicador es muy alto debido a la alta dependencia de fuentes no renovables, como lo son el petróleo y el gas natural, siendo de 27.57 para el sistema completo y de 11.5 para el sistema eléctrico solamente.

En las propuestas termosolar el índice de carga ambiental disminuye a 8.09 (500 MW) y 6.14 (1359 MW), y en la propuesta eólica disminuye a 7.33 (500 MW) y 4.88 (1501 MW). Ambas opciones disminuyen la tensión en el medio ambiente, y entre ambas opciones de energía renovable, la opción eólica resulta es la que resulta en menor carga ambiental.

El índice de sustentabilidad en energía  $SI = EYR/ELR$ , es una comparación entre el rendimiento en energía (que significa la capacidad de producir beneficios con recursos ambientales, renovables y no) y el índice de carga ambiental (que es el nivel de tensión sobre el medio ambiente al utilizar recursos comprados y no renovables). Este índice resulta muy bajo en el caso del sistema energético sonoreense: 0.3 en el sistema completa y 0.48 para el sistema eléctrico. Cuando se incluyen las propuestas de energía renovable, el índice se mantiene para la opción termosolar (500 MW) en 0.45 y aumenta a 0.5 para la

capacidad de 1359 MW, en estos dos casos el índice se mantiene en el rango insustentable ( $SI < 1$ ). En el caso de la propuesta eólica el índice de sustentabilidad aumenta a 0.75 (500 MW) y a 1.1 (1501 MW), en ésta última entrando en el rango de sustentabilidad media ( $1 < SI < 5$ ).

## VIII. Conclusiones

De la observación de los resultados del balance energético se entiende que los aspectos clave que deben ser revisados con mayor detenimiento y profundidad para una planeación energética a futuro son:

- La eficiencia en el consumo de gasolina y diesel en el sector transporte.
- Alternativas renovables a la gasolina y el diesel para el sector transporte.
- Eficiencia del uso de electricidad en los sectores de consumos, donde predominan el consumo industrial y residencial.
- Alternativas a las formas de generación de energía eléctrica donde el gas natural y el combustóleo juegan un papel predominante que, necesariamente, tendrá que disminuir en el futuro debido al límite natural que presentan estas fuentes no renovables.

Además, según la evaluación en emergencia, Sonora cuenta con un sistema energético insustentable al corto plazo que debe de incorporar una mayor participación de energías renovables. La condición es mantener la competitividad del sistema y reducir la carga sobre el medio ambiente.

En la evaluación en emergencia de las propuestas renovables para el sistema eléctrico sonorense la opción más atractiva resulta ser la fuente eólica a causa del alto costo de la planta termosolar. Sin embargo, el potencial para energías renovables en Sonora es alto para la explotación de la energía solar ( $4800 \text{ kWh/m}^2$ ), sin que en la literatura se haya encontrado un estudio del potencial eólico en el estado.

## IX. Recomendaciones

El balance energético presentado en este trabajo sirve para dar un diagnóstico general del sistema en el estado, sin embargo, para realizar una prospectiva energética basada en un balance más completo es necesario sumar al balance que aquí se describió nuevos análisis como el de potenciales y reservas de energías primarias y el de usos específicos en los sectores económicos. Esto dará una mejor perspectiva para trabajar escenarios a futuro.

En cuanto a la evaluación en energía, es bueno aclarar que este análisis nos permite saber de una forma más completa el impacto que tienen las entradas tanto ambientales como económicas de un determinado proceso, pero no nos dice mucho sobre el impacto de las salidas en el ambiente, para lo que son más efectivos otros métodos de evaluación como el análisis del ciclo de vida.

## X. Referencias

- Adams, G., Shachmurove, Y., 2007. Modeling and Forecasting Energy Consumption in China: Implications for Chinese Energy Demand and Imports in 2020. *PIER Working Paper Archive 7(12)*. Penn Institute, Penn Institute for Economic Research, Estados Unidos.
- AIE, Agencia Internacional de Energía, 2009. *Key World Energy Statistics*. Francia: AIE.
- AIE, International Energy Agency, 2004. *Energy Statistics Manual*. Francia: AIE.
- Allen, D., 2004. *The End of Oil Age*, 1<sup>a</sup> Ed. Estados Unidos: Lulu.com.
- Álvarez, P., Sánchez, J. 2005. Planificación energética y desarrollo sostenible. *Encuentros multidisciplinares 7(12)* pp. 2-16. Universidad Autónoma Metropolitana, UAM, México.
- Barbosa, F., Domínguez, N., 2006. Situación de las reservas y el potencial petrolero de México. *Economía UNAM*, 7(2006), pp. 79-102. México: UNAM.
- Bastianoni, S., Campell, D., Ridolfi, R., Pulselli, F., 2008. The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological Modeling 220(2009)* pp. 40-50. Holanda: Elsevier.
- Bazán, G., Ortiz, G., 2010. Modelos de planeación energética. *Energía a debate No. 37*. México: Mundi Comunicaciones.
- Bertinat, P., 2007. Políticas energéticas locales. 4° *Foro binacional de energías renovables*, Agosto 2007. Montevideo, Uruguay.
- Bhattacharyya, S., Timilsina, G., 2009. *Energy Demand Models for Policy Formulation*. Banco Mundial.
- Böhringer, C., Rutherford, T., 2006. Combining Top-Down and Bottom-up in Energy Policy Analysis: A Decomposition Approach. *Discussion paper No. 06-007*. Centro Europeo de Investigaciones Económicas (ZEW).
- Brown, M., Ulgiati, S., 2002. Energy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production 10 (2002)* pp. 321-334. Holanda: Elsevier.

Cao, K., Feng, X., 2007. The emergy analysis of multi-products systems. *Trans IChemE, Part B, Process Safety and Environmental Protection*, vol 85 (B5), pp. 494-500. China: IChemE.

Capra, 2003. Energía y sustentabilidad. *Foro Social Mundial de Porto Alegre*, Febrero 2003. CIPMA, Colombia.

Cárdenas, C. 2008. La crisis del petróleo en México. En: Gil, G., Chacón, S., eds. 2008. *La crisis del petróleo en México*. Tecnológico de Monterrey.

CFE, Comisión Federal de Electricidad, 2010a, [En línea], (Actualizado 2010), Disponible en <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/Default.aspx>, [Visitado el 5 de diciembre de 2010]

CFE, Comisión Federal de Electricidad, 2010b, [Solicitud] Respuesta para C.M. Luna (cm\_lunaz@hotmail.com) Respuesta del día 10 de agosto del 2010. Disponible en [www.infomex.org.mx](http://www.infomex.org.mx).

CRE, Comisión Reguladora de Energía, 2010, [Solicitud] Respuesta para C.M. Luna (cm\_lunaz@hotmail.com) Respuesta del día 3 de septiembre del 2010. Disponible en [www.infomex.org.mx](http://www.infomex.org.mx).

Christy, J., 2005. Temperature Changes in the Bulk Atmosphere: Beyond the IPCC. En: Michaels, P., eds. 2005. *Shattered Consensus, the true state of global warming*. Estado Unidos: Rowman&Littlefield publishers.

CONAFOR, Comisión Nacional Forestal, 2010, [En línea], (Actualizado 2010), Disponible en [http://148.223.105.188:2222/gif/snif\\_portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=51&Itemid=65](http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=51&Itemid=65), [Visitado el 5 de diciembre 2010]

Derakhshan, F., 2008. *On sustainable local energy planning*. Suecia: Lunds Universitet.

DESA/DSD, UN Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development, 2007. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Estados Unidos: ONU.

Diamond, J., 2005. *Collpase: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Estados Unidos: Viking Press.

Dicorato, M., 2003. A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 7 (2003) . Reino Unido: Pergamon Press.

Dicorato, M., 2007. Environmental-constrained energy planning using energy-efficiency and distributed-generation facilities. *Renewable Energy* 33 (2008). Holanda: Elsevier.

Exxon Mobil Corporation, 2010. *Evolution of Energy and Technology*, [En línea], (Actualizado 1 de noviembre del 2004) Disponible en:  
[http://www.exxonmobil.com/Corporate/energy\\_o\\_challenge\\_evolve.aspx](http://www.exxonmobil.com/Corporate/energy_o_challenge_evolve.aspx) [Visitado el 7 de Junio de 2010]

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal, [En línea]. Disponible en:  
<http://www.fao.org/docrep/x5595s/x5595s00.htm> [Visitado el 10 de octubre de 2010]

Garatuza, J., Pinker, R., Shuttleworth, W., Watts, C., 2001. Solar radiation and evapotranspiration in northern Mexico estimated from remotely sensed measurements of cloudiness. *Hydrological Sciences Journal*, 46(3) pp. 465-478. Francia: Hydrological Sciences.

Giannetti, B., Barrella, F., Almeida, C., 2006. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and energy accounting. *Journal of Cleaner Production* 14(2006) pp. 201-210. Holanda: Elsevier.

Giannetti, B., Barrella, F., Almeida, C., 2007. Emergetic ternary diagrams: five examples for application in environmental accounting for decision-making. *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) pp. 63-74. Holanda: Elsevier.

Gil, G. 2008. La crisis del petróleo en México. En: Gil, G., Chacón, S., eds. 2008. *La crisis del petróleo en México*. Tecnológico de Monterrey.

Hernández Sampieri, R., Fernández, C., Baptista, P., 1998. *Metodología de la investigación*. 2da edición. México: McGraw Hill.

Hirsch, R. 2005. The Inevitable Peaking of World Oil Production. *Bulletin of The Atlantic Council of the United States*, 14(3) pp. 1-9. Atlantic Council, Estado Unidos.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2005. *Plan de Energías Renovables*. España: Ministerio de Industria y Comercio.

IDEE/FB, Instituto de Economía Energética de la Fundación Bariloche, 2009. *Política Energética para el Desarrollo Sustentable y el uso del Modelo LEAP: Balances energéticos*. Fundación Bariloche. Argentina.

INEGI, 2005. Ficha técnica sobre Balances de Energía, [En línea], (Actualizado el 5 de Agosto de 2005) Disponible en: <http://mapserver.inegi.gob.mx/estandares/Index.cfm?Ligas=ficha.cfm&idf=287> [Visitado el 8 de Junio de 2010]

INEGI, 2009. Anuario estadístico de Sonora 2009, [En línea], (Actualizado 2010). Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?proy=aee&edi=2009&ent=26> [Visitado el 13 de Agosto de 2010]

INEGI, 2010. Censo de población y vivienda 2010, [En línea], (Actualizado 2010). Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/> [Visitado el 3 de Diciembre de 2010]

Instituto Mexicano para la Competitividad (IMC), 2010. *Sonora, Análisis de competitividad 2010*. México: IMC.

IPCC, International Panel on Climate Change, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Suiza: IPCC.

Johnson, T. 2004. An EPA Overview: Energy Technology Assessment and Regional MARKAL Modeling Initiatives. *National Risk Management Research Laboratory*. Mayo 2004. EPA, Estados Unidos.

Lebre, E., Pinguelli, L., Santos, A. et al., 2002. Cambio climático y desarrollo energético en América Latina: análisis y perspectivas. En: Leff, E., et al., eds. 2002. *La transición hacia el desarrollo sustentable: perspectivas de América Latina y El Caribe*. Instituto Nacional de Ecología.

Leff, E., 2007. El cambio climático y la sustentabilidad planetaria. *Foro Políticas Públicas para el Desarrollo de México*, Febrero, 2007. CEPAL, México.

Llamas, A., Viramontes, F., Probst, O., Reyna, R., Morones, A. y González, M, 2004. *Tecnologías y combustibles para la generación eléctrica*. México: Centro de Estudios en Energía, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.



Maytorena, F., 2009. *Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Sonora y Proyecciones de Casos de Referencia 1990-2020*. México: Centro de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora.

Ministerio de Energía del Perú, 2005. *Balance Regional de Energía – Junín*. Gobierno de Perú.

Moreno, R., 2006. Ingresos petroleros y gasto público, la dependencia continúa, En: Hofbauer, H., Zebadúa V., eds. 2006. *Avances y retrocesos: una evaluación ciudadana del sexenio 2000-2006*. México: Fundar, Centro de Análisis e Investigación, A.C.

Noim, S., Taplin R., Yu, X., et al. 2008. Towards a sustainable energy future –exploring current barriers and potential solutions in Thailand. *Environment, Development and Sustainability*, 12(1), pp. 63-87. Holanda: Springer Netherlands.

Odum, E. 2006. A prosperous way down. *Energy*, 31(1) pp.69-75. Holanda, Elsevier Ltd.

Odum, H. 1995. *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making*. 1er edición. Estados Unidos: Wiley.

OLADE, Organización Latinoamericana de Energía, 2004. *Metodología para la Elaboración de los Balances de Energía*. Ecuador: OLADE.

Oliveira, A., Girod, J., 1990. Eenergy Diagnosis: Toward a Policy-Oriented Approach for Energy Planning in Developing Countries. *World Development* 18(4). Reino Unido: Pergamon Press.

Pemex, Petróleos Mexicanos, 2010, [Solicitud] Respuesta para C.M. Luna (cm\_lunaz@hotmail.com) Respuesta del día 11 de julio del 2010. Disponible en [www.infomex.org.mx](http://www.infomex.org.mx).

Pemex Refinación, portal de transparencia, 2010, [Solicitud] Respuesta para C.M. Luna (cm\_lunaz@hotmail.com) Respuesta del día 7 de Junio del 2010. Disponible en [www.infomex.org.mx](http://www.infomex.org.mx).

Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB), portal de transparencia, 2010, [Solicitud] Respuesta para C.M. Luna (cm\_lunaz@hotmail.com) Respuesta del día 9 de Junio del 2010. Disponible en [www.infomex.org.mx](http://www.infomex.org.mx).

Rodríguez, I., 2007. *Reservas probadas de crudo en México, para menos de 10 años*, [internet] 23 de febrero. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2007/02/23/index.php?section=economia&article=022n1eco> [Visitado el 7 de junio del 2010]

Rodríguez, V., 2000. Repensar la planeación energética en México. *Gestión y Política Pública*, 9(1), pp. 117-134. México: Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE).

Semarnat, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, portal de transparencia, 2010, [Solicitud] Respuesta para C.M. Luna (cm\_lunaz@hotmail.com) Respuesta del día 6 de septiembre del 2010. Disponible en [www.infomex.org.mx](http://www.infomex.org.mx)

SENER, Secretaría de Energía, 2008. *Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017*. México: SENER.

SENER, Secretaría de Energía, 2009a. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024*. México: SENER.

SENER, Secretaría de Energía, 2009b. *Prospectiva del Gas Natural 2009-2024*. México: SENER.

SENER, Secretaría de Energía, 2009c. *Prospectiva del Gas Licuado de Petróleo 2009-2024*. México: SENER.

SENER, Secretaría de Energía, 2009d. *Balance Nacional de Energía 2008*. México: SENER.

SENER, Secretaría de Energía, 2010. *Estrategia nacional de energía*. México: SENER.

Sheinbaum, C., Rodríguez, P., Robles, G. 2009. Política mexicana e indicadores de sustentabilidad. *Problemas del desarrollo, Revista Latinoamericana de Economía*, 40(158), pp. 113-134. México: UNAM.

SIE, Sistema de Información Energética, 2010. *Sistema de Información Energética* [internet]. Disponible en: <http://sie.energia.gob.mx/sie/bdiController?action=login> [Visitado el 5 de junio del 2010]

SIEES, Sistema de Información Estadística del Estado de Sonora, 2010. [internet] Disponible en: <http://www.estadisticasonora.gob.mx/indicadores.aspx> [Visitado el 8 de diciembre del 2010]

Somoza, 2003. Herramientas para la formulación de Política Energética: el análisis prospectivo en la construcción de escenarios energéticos y el uso de modelos para su formalización. *Economía Cuba Siglo XXI*, pp. 1-80. Cuba.

Spitz, J., 2009. EFOM/ENV Energy Flow Optimization Model for the Czech Republic. *Today's Business Tomorrow's World*, Noviembre, 2009. República Checa: ENVIROS.

Tiezzi, E., Pulselli, F., Bastianoni, S., Marchettini, N., 2008. *The Road to Sustainability*. 1er edición, WIT Press: Gran Bretaña.

Tverberg, G. 2008. Peak Oil Overview, June 2008. *Discussions about energy and our future*. Estados Unidos, 30 June 2008. TheOilDrum.com

Verdesio, J. 2003. Políticas públicas para la difusión de las Nuevas Energías Renovables (NER) en Brasil. *Energía, Reformas Institucionales y Desarrollo en América Latina*. México, D.F. 5-7 Noviembre 2003. UNAM.

Yang, Y., 2003. China's Energy Supply and Cost Analysis –An EFOM model application and uncertainties. *Energy Modelling and Statistics*, China, 20-24 October 2003. China: Agencia Internacional de Energía.

ANEXO 1.

Balances energéticos del Estado de Sonora 2005-2008

ACTIVIDAD	ENERGÍA PRIMARIA					ENERGÍA SECUNDARIA								TOTAL
	Hydroenergía	Leña	Carbón Mineral	Gas Natural	Total primarias	Electricidad	Gas Licuado de Petróleo	Gasolina	Diesel (Gas-Oil)	Combustible (Fuel Oil)	Turbinas	Coque y (petróleo y carbón)	Carbón vegetal	
Producción	1.46	1.16	0.87		3.49	31.15							0.69	31.83
Importación	0.00	0.00	0.00	30.27	30.27	1.57	11.36	39.22	28.68	47.43	3.78	9.13	0.00	141.16
Importación desde fuera del país				30.27	30.27	0.09	11.36	0.41	0.23	1.49	0.00	9.13		22.71
Importación desde dentro del país					0.00	1.48	38.81	28.45	45.94		3.78		0.17	118.45
Exportación			0.87		0.87								0.17	1.04
Variación de inventario					0.00									-0.38
No aprovechado					0.00			-0.44	0.26	-0.20	0.00			0.00
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>1.46</b>	<b>1.16</b>	<b>0.00</b>	<b>30.27</b>	<b>32.89</b>	<b>32.72</b>	<b>11.36</b>	<b>38.78</b>	<b>28.94</b>	<b>47.23</b>	<b>3.78</b>	<b>9.13</b>	<b>0.51</b>	<b>172.44</b>
<b>TRANSFORMACIÓN</b>	<b>-1.46</b>	<b>-1.14</b>	<b>0.00</b>	<b>-25.42</b>	<b>-28.88</b>	<b>31.02</b>	<b>-1.40</b>	<b>-0.32</b>	<b>-47.43</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-44.69</b>
Centrales Eléctricas					0.00	0.12								0.12
Autoproducción					0.00									0.69
Carbonera		-1.14			-1.14									0.00
Coquería/Alto Horno					0.00									0.00
Otros centros					-0.15									0.00
<b>TRANSFORMACIÓN TOTAL</b>	<b>-1.46</b>	<b>-1.14</b>	<b>0.00</b>	<b>-25.57</b>	<b>-28.17</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-1.72</b>	<b>-47.43</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-45.49</b>
Consumo propio					0.00	0.02								0.02
Pérdidas (transmisión y distribución)					0.61	0.65								0.65
Ajuste	0.00	0.00	0.00	-1.06	-1.06	-0.65	0.00	2.26	1.60	-0.20	0.00	0.00	0.00	3.00
Transporte					0.00		1.70	36.52	23.18		3.78			65.19
Industria, minería				4.73	4.73	18.24	1.36		2.43			9.13		31.17
Residencial		0.02		0.43	0.44	9.19	5.68						0.27	15.14
Comercial, servicios públicos					0.00	2.02	1.70						0.24	3.96
Agro, pesca					0.00	3.25	0.91							4.16
Construcción, otros					0.00									0.00
Consumo energético	0.00	0.02	0.00	5.16	5.18	32.70	11.36	36.52	25.62	0.00	3.78	9.13	0.51	119.62
No energético					0.00									0.00
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>5.16</b>	<b>5.18</b>	<b>32.70</b>	<b>11.36</b>	<b>36.52</b>	<b>25.62</b>	<b>0.00</b>	<b>3.78</b>	<b>9.13</b>	<b>0.51</b>	<b>119.62</b>
<b>Pérdida</b>														<b>124.80</b>

Figura A1.1. Balance energético del Estado de Sonora 2005

ACTIVIDAD	ENERGÍA PRIMARIA					ENERGÍA SECUNDARIA										TOTAL
	Hydroenergía	Leña	Carbón mineral	Gas Natural	Total primaria	Electricidad	Gas Licuado de Petróleo	Gasolina	Diesel (Gas-Oil)	Combustibles (Fuel Oil)	Turbinas	Cocinas (petróleo carbón)	Carbón vegetal	Total secundarias		
Producción	1.18	1.03	1.21		3.41	34.75							0.60	35.35		
Importación desde fuera del país	0.00	0.00	0.00	38.82	38.82	0.10	10.51	41.70	31.58	41.17	4.21	9.47	0.00	136.74		
Importación desde dentro del país				38.82	38.82	0.10	10.51	0.66	0.00	4.80	0.00	9.47		25.54		
Exportación			1.21		1.21	1.82		41.05	31.58	36.37	4.21		0.15	113.20		
Variación de inventario					0.00			0.26	0.14	0.22	0.03			0.64		
No aprovechado					0.00									0.00		
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>1.18</b>	<b>1.03</b>	<b>0.00</b>	<b>38.82</b>	<b>41.02</b>	<b>33.03</b>	<b>10.51</b>	<b>41.95</b>	<b>31.71</b>	<b>41.38</b>	<b>4.24</b>	<b>9.47</b>	<b>0.45</b>	<b>172.76</b>		
Centrales Eléctricas	-1.18			-33.02	-34.20	34.51			-1.22	-41.17				34.51		
Autoproducción					0.00	0.24			-0.65					0.24		
Carbonera		-1.00			-1.00								0.60	0.60		
Coque/Horno Alto					0.00									0.00		
Otros centros					-0.31									0.00		
<b>TRANSFORMACIÓN TOTAL</b>	<b>-1.18</b>	<b>-1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-33.33</b>	<b>-35.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-1.87</b>	<b>-41.17</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-43.04</b>		
Consumo propio					0.00	0.02								0.02		
Pérdidas (transmisión y distribución)					0.78	0.66								0.66		
Ajuste	0.00	0.00	0.00	-0.63	-0.63	-0.66	0.58	2.82	2.55	0.21	-0.04	0.00	0.00	5.97		
Transporte					0.00		1.50	39.14	25.30		4.28			70.22		
Industria, minería				4.95	4.95	17.81	0.97		1.99			9.47		30.24		
Residencial		0.03		0.40	0.42	9.83	5.81						0.24	15.88		
Comercial, servicios públicos					0.00	2.11	1.27						0.21	3.58		
Agro, pesca, minería					0.00	3.26	0.38							3.65		
Construcción, otros					0.00									0.00		
Consumo energético	0.00	0.03	0.00	5.35	5.37	33.01	9.93	39.14	27.29	0.00	4.28	9.47	0.45	123.57		
No energético					0.00									0.00		
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>5.35</b>	<b>5.37</b>	<b>33.01</b>	<b>9.93</b>	<b>39.14</b>	<b>27.29</b>	<b>0.00</b>	<b>4.28</b>	<b>9.47</b>	<b>0.45</b>	<b>123.57</b>		
<b>Pérdidas</b>														<b>-43.20</b>		

Figura A1.2. Balance energético del Estado de Sonora, 2006

ACTIVIDAD	ENERGÍA PRIMARIA					ENERGÍA SECUNDARIA									
	Hidroenergía	Leña	Carbón Mineral	Gas Natural	Total primarias	Electricidad	Gas Licuado de Petróleo	Gasolina	Diesel (GK-Oil)	Combustible (Fuel Oil)	Turbotina	Coques (petrol y carbón)	Carbón vegetal	Total secundarias	TOTAL
Producción	1.66	0.95	2.86		5.47	35.24							0.56	35.79	41.26
Importación	0.00	0.00	0.00	38.10	38.10	0.13	9.72	44.53	32.13	42.17	10.61	10.53	0.00	149.81	187.91
Importación desde fuera del país				38.10	38.10	0.13	9.72	5.30	5.46	1.69	0.00	10.53		32.83	70.93
Importación desde dentro del país					0.00	0.00		39.23	26.67	40.48	10.61		0.14	116.98	116.98
Exportación			2.86		2.86	0.78								0.92	3.78
Variación de inventario					0.00			0.27	0.23	-0.11	0.16			0.55	0.55
No aprovechado					0.00									0.00	0.00
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>1.66</b>	<b>0.95</b>	<b>0.00</b>	<b>38.10</b>	<b>40.71</b>	<b>34.58</b>	<b>9.72</b>	<b>44.80</b>	<b>32.36</b>	<b>42.06</b>	<b>10.77</b>	<b>10.53</b>	<b>0.42</b>	<b>185.23</b>	<b>225.93</b>
Centrales Eléctricas	-1.66			-33.15	-34.81	34.96			-0.73	-42.17				34.96	-42.75
Autoprodutores					0.00	0.27			-0.73					0.27	-0.46
Carbonera		-0.92			-0.92								0.56	0.56	-0.37
Coquería/Alto Horno					0.00									0.00	0.00
Otros centros				-0.26	-0.26									0.00	0.00
<b>TRANSFORMACIÓN TOTAL</b>	<b>-1.66</b>	<b>-0.92</b>	<b>0.00</b>	<b>-33.42</b>	<b>-36.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-1.46</b>	<b>-42.17</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-43.63</b>	<b>-43.84</b>
Consumo propio					0.00	0.02								0.02	0.02
Pérdidas (transmisión y distribución)				0.76	0.76	0.69								0.69	1.45
Ajuste	0.00	0.00	0.00	-2.00	-2.00	-0.69	0.21	2.47	1.63	-0.11	0.31	0.00	0.00	3.81	1.81
Transporte					0.00		1.50	42.33	25.72		10.46			80.01	80.01
Industria, minería				5.50	5.50	18.76	0.98		3.56			10.53		33.83	39.33
Residencial		0.02		0.42	0.44	10.31	5.57						0.22	16.10	16.54
Comercial, servicios públicos					0.00	2.12	1.17						0.19	3.48	3.48
Agro, pesca, minería					0.00	3.38	0.28							3.66	3.66
Construcción, otros					0.00									0.00	0.00
Consumo energético	0.00	0.02	0.00	5.92	5.94	34.56	9.50	42.33	29.28	0.00	10.46	10.53	0.42	137.08	143.02
No energético					0.00									0.00	0.00
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>5.92</b>	<b>5.94</b>	<b>34.56</b>	<b>9.50</b>	<b>42.33</b>	<b>29.28</b>	<b>0.00</b>	<b>10.46</b>	<b>10.53</b>	<b>0.42</b>	<b>137.08</b>	<b>143.02</b>
<b>Pérdida en transformación</b>															

Figura A1.3. Balance energético del Estado de Sonora, 2007.

ACTIVIDAD	ENERGÍA PRIMARIA					ENERGÍA SECUNDARIA								TOTAL secundarias	TOTAL
	Hidroenergía	Leña	Carbón mineral	GN Natural	Total primaria	Electricidad	GN licuado	Gasolina	Diesel (Gas-Oil)	Combustible (Fuel Oil)	Turbosina	Coques (pérdida y carbón)	Carbón vegetal		
Producción	1.61	0.87	3.31		5.79	36.52							0.51	37.04	42.83
Importación desde fuera del país	0.00	0.00	0.00	44.16	44.16	0.03	9.26	46.50	32.25	36.08	7.95	10.46	0.00	142.52	186.68
Importación desde dentro del país				44.16	44.16	0.03	9.26	7.07	7.01	8.18	0.00	10.46		42.01	86.17
Exportación			3.31		3.31	2.74		39.42	25.24	27.90	7.95		0.13	100.51	100.51
Variación de inventario					0.00			0.21	-0.26	0.17	-0.17			2.87	6.18
No aprovechado					0.00									-0.05	-0.05
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>1.61</b>	<b>0.87</b>	<b>0.00</b>	<b>44.16</b>	<b>46.64</b>	<b>33.81</b>	<b>9.26</b>	<b>46.71</b>	<b>31.99</b>	<b>36.25</b>	<b>7.78</b>	<b>10.46</b>	<b>0.38</b>	<b>176.63</b>	<b>223.28</b>
Centrales Eléctricas	-1.61			-39.23	-40.84	36.26			-1.17	-36.08				36.26	-41.83
Autoproducciones					0.00	0.26			-0.70					0.26	-0.44
Carbonera		-0.85			-0.85								0.51	0.51	-0.34
Coquería/Alto Horno					0.00									0.00	0.00
Otros centros				-0.32	-0.32									0.00	0.00
<b>TRANSFORMACIÓN TOTAL</b>	<b>-1.61</b>	<b>-0.85</b>	<b>0.00</b>	<b>-39.55</b>	<b>-42.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-1.87</b>	<b>-36.08</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-37.95</b>	<b>-42.93</b>
Consumo propio					0.00	0.01								0.01	0.01
Pérdidas (transmisión y distribución)				0.88	0.88	0.68								0.68	1.56
Ajuste	0.00	0.00	0.00	-1.45	-1.45	-0.68	0.05	1.46	-0.24	0.17	-0.33	0.00	0.00	0.43	-1.01
Transporte					0.00		1.50	45.25	26.27		8.10			81.12	81.12
Industria, minería				4.94	4.94	17.52	0.90		4.09			10.46		32.97	37.91
Residencial		0.02		0.24	0.26	10.76	5.43						0.20	16.39	16.65
Comercial, servicios públicos					0.00	2.17	1.06						0.18	3.40	3.40
Agro, pesca, minería					0.00	3.35	0.32							3.67	3.67
Construcción, otros					0.00									0.00	0.00
Consumo energético	0.00	0.02	0.00	5.17	5.20	33.79	9.21	45.25	30.36	0.00	8.10	10.46	0.38	137.56	142.75
No energético					0.00									0.00	0.00
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>5.17</b>	<b>5.20</b>	<b>33.79</b>	<b>9.21</b>	<b>45.25</b>	<b>30.36</b>	<b>0.00</b>	<b>8.10</b>	<b>10.46</b>	<b>0.38</b>	<b>137.56</b>	<b>142.75</b>

Perdidas transformación

Figura A1.4. Balance energético del Estado de Sonora, 2008.

## ANEXO 2

### Balance Energético Integral

#### *A2.1 Introducción*

El Balance Energético Integral (BEI) agrega, en relación al Balance Energético de Base, el Balance de Reservas y Potenciales de Energía Primaria, por el lado de la demanda y, en el otro extremo de la cadena, los Consumos de Energía Neta por y Usos y Consumos de Energía Útil por Fuentes y Usos. La metodología aquí presentada ha sido desarrollada por el Instituto de Economía Energética de la Fundación Bariloche (IEE/FB), de Argentina, y aplicada en países de América Latina y el Caribe y en estudios regionales dentro de Argentina.

Las siguientes son algunas de las características particulares más importantes que lo diferencian del esquema aplicado en este trabajo (Balance Energético de Base):

- Por su construcción se encuentra íntimamente vinculado a las metodologías para la elaboración del diagnóstico energético, para la previsión de las necesidades y del abastecimiento y para la sistematización de la información energética. Es decir, está diseñado para ser utilizado en la prospectiva energética.
- Agrega a los balances tradicionales (o de Base): a) la consideración expresa del problema de las reservas de fuentes no renovables de energía y el potencial de las renovables; b) la distribución del consumo de energía final por usos en cada sector de consumo y c) la consideración expresa del consumo de energía útil por sectores, por fuentes y por usos, temas todos de gran importancia, sobre todo si se piensa en realizar una planificación para la sustentabilidad.

En definitiva se trata de una representación completa de los flujos y existencias energéticas desde las reservas hasta la energía útil en un cuadro lógico y coherente y en una unidad física común (ya sea la tonelada equivalente de petróleo, Tep o el Joule, J).

#### *A2.2 Estructura general*

Un BEI que represente la totalidad del sistema energético estará constituido por un conjunto ordenado de 10 matrices que representan una serie de Balances parciales, las mismas se encuentran interrelacionadas de acuerdo al esquema sintético presentado en la figura A2.1. Este esquema amplía los Balances Energéticos clásicos ya que incorpora:



a) Balance de Reservas, b) Balance del Consumo de Energía Útil por Fuentes y c) los Balances del Consumo Neto y Útil por usos.

Fuentes primarias	Fuentes secundarias	Total	Usos
Reservas y Potenciales (1)			
Balance de Energía Primaria (2)			
Centros de Transformación Primarios (3)		Pérdidas	
Centros de Transformación Secundarios (4)		Pérdidas	
	Balance de Energía Secundaria (5)		
Consumo Neto por Fuentes (7)		Total	Consumo Neto por Usos (8)
Consumo Útil por Fuentes (8)		Total	Consumo Útil por Usos (10)

Figura A.2.1. Esquema del Balance Energético Integral (tomado de Fundación Bariloche, 2009).

Además se ha realizado un reordenamiento de filas y columnas, de acuerdo a una secuencia lógica, como veremos enseguida, de manera tal que, siguiendo una dirección general desde la parte superior izquierda a la inferior derecha se describen totalmente, en forma sucesiva, todos los procesos a que puede ser sometido un producto energético, desde su estado natural hasta su utilización final, incluyendo los procesos de transporte, a través de las pérdidas en ellos involucrados.

Cada una de estas matrices está definida por un vector de balance por el lado de las filas y por el conjunto de las fuentes primarias y/o secundarias por el lado de las columnas. Las sub-matrices en el BEi son:

1. Balance de Reservas de Energías Primarias.
2. Balance de Energías Primarias.
3. Balance de Centros de Transformación Primarios.
4. Balance de Centros de Transformación Secundarios.
5. Balance de Energías Secundarias.

6. Balance de Abastecimiento y del Consumo.
7. Balance de Consumo Neto Sectorial por fuentes.
8. Balance de Consumo Neto Sectorial por usos.
9. Balance de Consumo Útil Sectorial por fuentes.
10. Balance de Consumo Útil Sectorial por usos.

En el caso de las matrices 8 y 10 las columnas corresponden a los diferentes usos. Este esquema es completamente general, y por lo tanto aplicable a todo tipo de sistema energético cualesquiera que sean sus características internas o niveles de agregación.

## ANEXO 3

### Cuentas en el Balance Energético de Base e Indicadores globales

#### A3.1 Balance de Energía Primaria

El balance de energía primaria refleja los flujos de las fuentes primarias, calculando la Oferta Total de cada fuente primaria partiendo de su abastecimiento, y llegando al consumo de cada una.

Por el lado del abastecimiento, la Oferta Total para cada fuente primaria  $i$ , se obtiene de la siguiente manera:

$$OT_i = Pr_i + Im_i - Ex_i + Vi_i - Na_i$$

Ecn. A3.1

donde:  $OT_i$ , es la Oferta Total de la fuente primaria  $i$ ;  $Pr_i$  la producción;  $Im_i$  la importación;  $Ex_i$  la exportación;  $Vi_i$  la variación de inventarios y  $Na_i$  la energía no aprovechada.

La variación de inventarios es la diferencia entre la existencia inicial menos la existencia final del año del balance. Un aumento en las existencias durante el año implica una disminución de la Oferta Total (signo negativo) y una disminución, un aumento de la oferta (signo positivo).

Por una sumatoria del resultado de la Ecn. A3.1 para cada fuente de energía se obtiene el total de la oferta de energía primaria, u Oferta Total Primaria (OTP):

$$OTP = \sum_i OT_i$$

Ecn. A3.2

Esta oferta obtenida es distribuida entre las pérdidas por transporte, distribución y almacenamiento; el consumo propio; el consumo intermedio en un centro de transformación (insumo para una fuente secundaria); o directamente en el consumo final en los sectores socioeconómicos.

Considerando solo el lado de la distribución, la Oferta Total puede ser calculada también de la siguiente manera:

$$OT'_i = Pd_i + CP_i - Cl_i + CF_i$$

Ecn. A3.3

donde:  $OT'_i$ , es la Oferta Total de la fuente  $i$  calculada desde el lado del consumo;  $Pd_i$  son las pérdidas por transporte, distribución y almacenamiento;  $CP_i$  el consumo propio;  $Cl_i$  el

intermedio o insumos para centrales de transformación y  $CF_i$  el consumo final en los sectores.

El consumo intermedio va con signo negativo en la Ecn. A3.3 debido a que por convención los insumos en las centrales de transformación se escriben con signo(-).

La Oferta Total calculada desde el lado de la oferta (Ecn. A3.1) y la que es calculada desde el lado de la demanda (Ecn. A3.3) deben de ser iguales, a no ser por diferencias estadísticas. Entonces se calculan los ajustes para cada fuente de energía primaria ( $A_{ji}$ ) como la diferencia entre la Oferta Total calculada desde la oferta y la calculada a partir de su consumo:

$$A_{ji} = OT_i - OT_i'$$

Ecn. A3.4

El valor del ajuste es un indicador de la calidad de la información contenida en el balance de cada fuente energética. Para el objetivo de un balance energético se considera que el ajuste debe de ser menor al 5% del valor de la Oferta Total. Este es el principal criterio de consistencia de la información en el balance.

### A3.2 Balance de Centros de Transformación

Este balance representa la actividad de las centrales de transformación que adaptan una forma de energía en otra más adecuada para los requerimientos de consumo.

En los Centros de Transformación ingresan fuentes primarias y/o secundarias y se producen otras fuentes secundarias, ocurriendo pérdidas por transformación. Hay fuentes que se obtienen luego de una segunda o tercera transformación, pero se les sigue llamando fuentes secundarias. El balance de un Centro de Transformación  $k$  se obtiene por medio de la siguiente ecuación (Ecn. A3.5):

$$-\sum_i CI_{ik} - \sum_j CI_{jk} = \sum_j Pr_{jk} - Pt_k$$

Ecn. A3.5

donde:  $k$ , es el Centro de Transformación;  $CI_{ik}$  el consumo intermedio de la fuente primaria  $i$  en el centro  $k$ ;  $CI_{jk}$  el consumo intermedio de la fuente secundaria  $j$  en el centro  $k$ ;  $Pr_{jk}$  es la producción de fuentes secundarias  $j$  en el centro  $k$  y  $Pt_k$  son las pérdidas de transformación.

Lo anterior quiere decir que la suma del consumo intermedio de fuentes primarias (que ingresan al centro  $k$ ) más la suma del consumo intermedio de las fuentes secundarias

debe ser igual a la suma de la producción de fuentes secundarias más las pérdidas de transformación.

Los signos negativos en la Ecn. A3.5 se deben a que por convención las cantidades que ingresan como insumo al Centro de Transformación se escriben con signo (-) y las producciones con signo (+), mientras que las pérdidas por transformación se escriben también con signo(-).

En la última fila de la sub-matriz Centros de Transformación se suman las entradas de cada fuente primaria o secundaria a las centrales. En la columna Total Primaria se suman las contribuciones de energía primaria para cada Centro; en la columna Total Secundaria se suman las producciones (no insumos) de fuentes secundarias de cada centro; y, en la columna Total se calculan las Pérdidas de Transformación.

### A3.3 Balance de Energía Secundaria

Las ecuaciones para el balance de las fuentes secundarias son muy similares al de las fuentes primarias. Al igual que las primarias, se realiza un cálculo de Oferta Total desde la oferta y desde la demanda, para después realizar una operación de ajuste.

Desde el abastecimiento, la Oferta Total para cada fuente secundaria  $j$ , es:

$$OT_j = Pr_j + Im_j - Ex_j + Vi_j - Na_j$$

Ecn. A3.6

donde:  $OT_j$  es la oferta total de la fuente secundaria  $j$ ;  $Pr_j$  la producción;  $Im_j$  la importación;  $Ex_j$  la exportación;  $Vi_j$  la variación de inventarios y  $Na_j$  la energía no aprovechada.

La oferta total secundaria (OTS) es:

$$OTS = \sum_j OT_j$$

Ecn. A3.7

Desde el lado del suministro y el consumo es:

$$OT_j^f = Pd_j + CP_j - CI_j + CF_j$$

Ecn. A3.8

donde:  $OT_j^f$  es la oferta total de la fuente  $j$ ;  $Pd_j$  las pérdidas de transporte, distribución y almacenamiento;  $CP_j$  el consumo propio;  $CI_j$  el consumo intermedio o insumos de los centros de transformación y  $CF_j$  el consumo final en los sectores.

El ajuste de las fuentes secundarias  $A_j$  se calcula de la misma forma que para las primarias y debe cumplir la condición de consistencia.

$$A_{jj} = OT_j - OT_j'$$

Ecn. A3.9

#### A3.4 Consumo Final de Energía por Sectores y Total

En esta sub-matriz de la matriz general presentada en la Figura 3 se consignan los consumos de energía tanto de fuentes primarias y secundarias en cada uno de los sectores de consumo.

Las filas de esta sub-matriz corresponden a la apertura sectorial utilizada, y puede incluir el consumo no energético (materias primas básicas de la petroquímica, aceites lubricantes, grasas, asfaltos, solventes, etc.).

Para cada fuente primaria  $i$  o secundaria  $j$ , su Consumo Final (CF) es la suma del Consumo Energético (CE) más el consumo No Energético (CNE):

$$CF_i = CE_i + CNE_i \quad y \quad CF_j = CE_j + CNE_j$$

Ecn. A3.10 y Ecn. A3.11

Luego el Consumo Energético es la sumatoria de los consumos sectoriales

$$CE_i = C_{1i} + C_{2i} + C_{3i} + C_{4i} + C_{5i} + C_{6i}$$

$$CE_j = C_{1j} + C_{2j} + C_{3j} + C_{4j} + C_{5j} + C_{6j}$$

Ecn. A3.12 y Ecn. A3.13

donde: CE, es el consumo energético de energía primaria  $i$  o energía secundaria  $j$ ;  $C_1$  el consumo energético en el sector Transporte;  $C_2$  el consumo energético del sector Industria;  $C_3$  el consumo del sector Residencial;  $C_4$  el sector Comercial, Servicios y Público;  $C_5$  el sector Agro, Pesca y Minería y  $C_6$  el sector Construcciones y Otros.

En las columnas Total Primarias y Total Secundarias se obtienen los sub-totales del consumo de energía de cada sector y en la última a la derecha (columna Total), se totaliza el consumo de fuentes primarias y secundarias.

El consumo final total (CFT) de energía es:

$$CFT = \sum_i CF_i + \sum_j CF_j$$

Ecn. A3.14

#### A3.5 Indicadores globales

Oferta Bruta Total (OBT), es la energía disponible en el sistema durante el año en estudio. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$OBT = OTP + OTS - PrS$$

Ecn. A3.15

donde: OTP es la oferta total primaria; OTS la oferta total secundaria y PrS es la producción de energía secundaria. Esto es así, porque la producción de energías secundarias se obtiene de las fuentes primarias (y en algunos casos secundarias).

Otro indicador global es el Consumo Neto Total (CNT) que es la energía consumida por los sectores socioeconómicos y el propio sector energético:

$$CNT = CFT + CPT$$

Ecn. A3.16

donde: CFT es el consumo final total (primaria + secundaria) y CPT es el consumo propio total del sector energético (primaria + secundaria).

La Eficiencia Aparente del Sistema Energético (EFA), es la eficiencia de la oferta bruta total:

$$EFA = \left( \frac{CNT}{OBT} \right) * 100$$

Ecn. A3.17

Esta es una eficiencia aparente porque no incluye toda la energía de entrada al sistema (faltan las energías no aprovechadas) y tampoco incluye la eficiencia en la utilización de energía ni la eficiencia del uso de energías en los centros de transformación. Sin embargo, da una idea del aprovechamiento general de la energía.

El grado de independencia energética ( $I^{\circ}$ ) indica que porcentaje de las necesidades energéticas del sistema es abastecida por medio de recursos locales:

$$I^{\circ} = \left( \frac{PrP}{OBT} \right) * 100$$

Ecn. A3.18

donde: PrP es la producción total de energía primaria.

El Consumo Energético Per Cápita (CENEPC) y el Consumo Eléctrico Per Cápita (CELEPC) son dos indicadores escogidos a causa de que son muy utilizados como instrumento de comparación entre economías, el cálculo para cada uno se hace como una división entre el Consumo Neto Total de energía (CNT) y el total de habitantes en el caso del CENEPC, para el CELEPC como una división entre el Consumo Eléctrico Total (CET) y el total de habitantes.

## ANEXO 4

### Procedimiento para la evaluación en energía

Este anexo es un resumen del capítulo 5 del libro *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making* de Howard T. Odum de 1995.

La evaluación en *energía* comienza con un diagrama de energía del sistema en estudio para obtener una visión general del mismo, sus partes y procesos, los problemas, los factores que contribuyen, y las alternativas de mejora. Los caminos de la energía en el diagrama general determinarán los ítems en la tabla de evaluación en *energía*. La energía Solar es calculada para cada flujo, producto o ítem de interés. En todas las escalas involucradas, se realizan decisiones en base a la máxima producción y uso de energía. De las tablas de evaluación se calculan índices para que puedan realizarse comparaciones y recomendación de políticas.

#### A4.1 Diagrama de energía del sistema

Para entender un problema, necesitamos entender tanto el mecanismo como las formas en las que un problema es controlado por el sistema más amplio en el que se encuentra. Para entenderlo, evaluarlo, y simularlo, el procedimiento comienza con el diagrama del sistema que se estudia. Este diagrama inicial puede ser hecho con mucho detalle con todos los aspectos que afectan el proceso en él, aun cuando pudiera parecer algo menor. Este primer diagrama complejo es como un inventario. Después puede ser simplificado por agregación sin eliminar ningún flujo de energía. Un ejemplo de esto se muestra en las figuras A4.1a y A4.1b.

El primer diagrama es normalmente mucho más complejo de lo que se observa en el ejemplo mostrado (contando con más partes y flujos), especialmente cuando las personas que los realizan conocen mucho acerca del problema que están tratando. El diagrama inicial se simplifica por agregación. Este tipo de simplificación retiene todos los recursos y componentes, pero los combina para hacer menos líneas y símbolos en el diagrama. Para un análisis en energía, la agregación es realizada para que los flujos que se mantengan sean los que se evalúen en las tablas de energía. Todas las fuentes fuera del sistema y grandes puntos de almacenaje internos que sirven como fuentes no renovables deben incluirse. Los flujos para ser evaluados normalmente incluyen los siguientes:



- Flujos que contribuyen con recursos desde fuera del sistema, pero que lo cruzan. Éstos incluyen entradas ambientales, combustibles, minerales, dinero, bienes y servicios.
- Almacenamientos dentro del sistema que son lo suficientemente grandes para actuar como fuentes no renovables por un tiempo corto de uso. Estos almacenamientos duran un tiempo mayor al del horizonte de tiempo en estudio (1 año, algunos minutos, siglos, etcétera). Por ejemplo, para estudios de estados y naciones, almacenamientos con duración mayor a un año son incluidos.
- Flujos sujetos a cambios dentro de las alternativas de mejora que se consideren.
- Flujos de interés especial para los problemas que se están considerando. Los flujos que serán evaluados deben incluir flujos principales y flujos menores dentro ellos, si son de interés.

#### A4.2 Tablas de evaluación en energía

El siguiente paso a los diagramas de energía del sistema es ordenar los flujos y la información que se tenga sobre ellos en una tabla con seis columnas:

- Columna 1: número de línea. Enumera el ítem que será evaluado. Para cada línea será necesario incluir la fuente de información y los cálculos realizados en una nota.
- Columna 2: ítem. En esta columna se escribe el nombre del ítem. Puede ser necesario dar una descripción más amplia del ítem en una nota.
- Columna 3: datos. Para cada línea, se evalúa el flujo en unidades físicas: energía, masa, o incluso, dólares, y se coloca un número.
- Columna 4: transformidad. La transformidad (o el valor en energía solar por unidad de energía, peso o dinero) para cada ítem se escribe en esta columna.
- Columna 5: energía (de flujo o almacenamiento). Este valor es calculado multiplicando la columna 3 (datos) con la columna 4 (transformidad).
- Columna 6: emvalor (em dólares). Finalmente, se divide la energía en la columna 5 entre la razón energía/dinero para la divisa que se utilice para determinado año y se escribe el valor en esta columna.

Un ejemplo de tabla de evaluación se muestra en la figura A4.2 en la siguiente página.

Note	Item	Data	EMERGY/unit (sej/unit)	Solar EMERGY ( $\times 10^{12}$ sej)	Em\$* (1984 U.S.\$)
1	Sunlight	$5.14 \times 10^{11}$ J	1	51.4	23.
2	Rain transpired	$3.16 \times 10^{10}$ J	$1.6 \times 10^4$ /J	506	230.
3	Soil used	$3.39 \times 10^9$ J	$6.3 \times 10^7$ /J	214	97.
4	Phosphate added	$4.84 \times 10^6$ J	$4.4 \times 10^7$ /J	213	97.
5	Fuel used	$1.79 \times 10^8$ J	$6.6 \times 10^4$ /J	12	5.
6	Services	\$7 1978\$	$4.6 \times 10^{12}$ /\$	262	119.
7	Annual Yield	$1.507 \times 10^{11}$ J	$8 \times 10^4$ /J	1207	548

*Solar Transformaties*

Wood standing in forest:  $\frac{(506 + 213 + 214 + 199) \times 10^{12} \text{ sej/yr}}{1.507 \times 10^8 \text{ J}} = 7511 \text{ sej/J wood}$

Harvested wood:  $\frac{(506 + 213 + 214 + 12 + 262) \times 10^{12} \text{ sej/yr}}{1.507 \times 10^{11} \text{ J wood/yr}} = 8009 \text{ sej/J wood}$

\* EMERGY flow in column 3 divided by 2.2 sej/\$ for U.S. in 1983; analysis from IIASA report (H. T. Odum and Odum, 1983). Harvest after 24 yr of growth. Costs for 1978 from D. J. Mead.  
<sup>1</sup> mean insolation 333.65 Langleys (Ly) per day (Lisle, 1960); 10 kcal/m<sup>2</sup>/Ly; 365 days

Figura A4.2 Tabla de evaluación en energía de una plantación de pinos en Nueva Zelanda, flujos anuales por hectárea (tomado de Odum, 1995).

A4.3 Índices de evaluación en energía

Con el objetivo de calcular algunos índices que sean útiles para la interpretación de los sistemas, normalmente resumimos los flujos de energía en un diagrama de tres brazos (entradas ambientales, retroalimentación económica, y salida de productos). En la figura A4.3 se muestran las entradas desde el ambiente local divididas en dos partes (renovables y no renovables) y la retroalimentación económica también en dos partes (recursos comprados y servicios humanos). En este trabajo, para el cálculo de los índices se tomaron los recursos renovables locales (R), los recursos no renovables locales (N) y la retroalimentación económica (F).

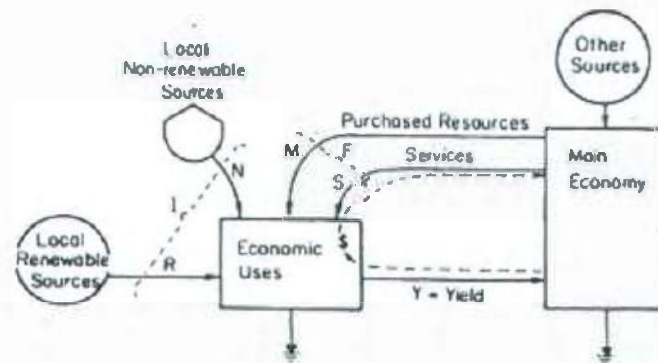


Figura A4.3. Principales categorías de flujos de energía.

## ANEXO 5

### Diagrama ternario en emergencia

Este anexo es un extracto del artículo *A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and energy accounting* de Giannetti, Barrella y Almeida de la Universidade Paulista en Sao Paulo, Brasil, del año 2007.

Los diagramas de fase son utilizados para describir situaciones de equilibrio en donde dos o más fases de materia existen juntas en sustancias puras o en soluciones. Éstos son ampliamente usados en las ciencias físicas, principalmente en los campos de la metalurgia, ciencia de materiales, geología, y química física. Los diagramas ternarios fueron propuestos por Gibbs y Roozeboom (1984) para el análisis de componentes mezclados.

Más comúnmente son utilizadas las tres fracciones que sumadas dan 1, o tres percentiles que sumados dan 100. La condición de que la suma sea constante significa que existen solo dos partes independientes de información. Entonces, es posible graficar en dos dimensiones dentro de un triángulo. Este tipo de diagramas son tridimensionales pero se ilustran en dos dimensiones por la facilidad de dibujo y lectura. Las gráficas triangulares aparecen bajo varios nombres en la literatura, incluyendo trilinear, triaxial, mapas de tres elementos, ternario, triángulos de referencia, triángulos de porcentaje y triángulos mezcladores.

Un diagrama ternario en emergencia posee tres componentes, R, N y F, como se muestra en la figura A5.1. Estos componentes pueden ser representados en un triángulo equilátero; cada esquina represente un elemento, y cada lado un sistema binario; las combinaciones ternarias son representadas por puntos dentro del triángulo, las proporciones relativas de los elementos están dadas por las longitudes de las líneas perpendiculares que unen el punto dado con el lado opuesto del triángulo al elemento que se trate (figura A5.1a). Por lo tanto, la "composición" de cualquier punto graficado en el diagrama ternario puede ser determinada (o cualquier punto puede ser graficado) leyendo desde cero en la línea base (eje) hasta 100% en el vértice del triángulo. En la figura A5.1b el punto A representa un sistema compuesto por tres entradas: 16% de F, 62% de N y 22% de R. Esto es posible porque la suma de las perpendiculares es independiente de la posición del punto. Los diagramas ternarios muestran propiedades importantes. Cuando dos composiciones ternarias diferentes, representadas por los puntos P y Q dentro del triángulo, son

mezcladas, la composición resultante será representada por el punto X llamado aquí punto *simergético*, y se ubica en algún punto del segmento PQ (figura A5.1c).

Otra propiedad importante de los diagramas triangulares es la importancia de la línea recta que une la esquina del triángulo con el lado opuesto (figura A5.2d). Cualquier punto sobre esta línea representa una composición que es progresivamente menor en N, a medida que pasa de A hasta B, pero R y F se mantienen presentes en la misma proporción inicial. Por lo tanto, si se desea representar una composición cambiante del sistema A a medida que el %N disminuye, todo lo que se necesita es dibujar una línea desde la esquina de N pasando por el punto A. Cualquier sistema ternario formado por la suma o la resta de N de la composición original se ubica en algún punto sobre esta línea, llamada aquí *línea de sensibilidad*.

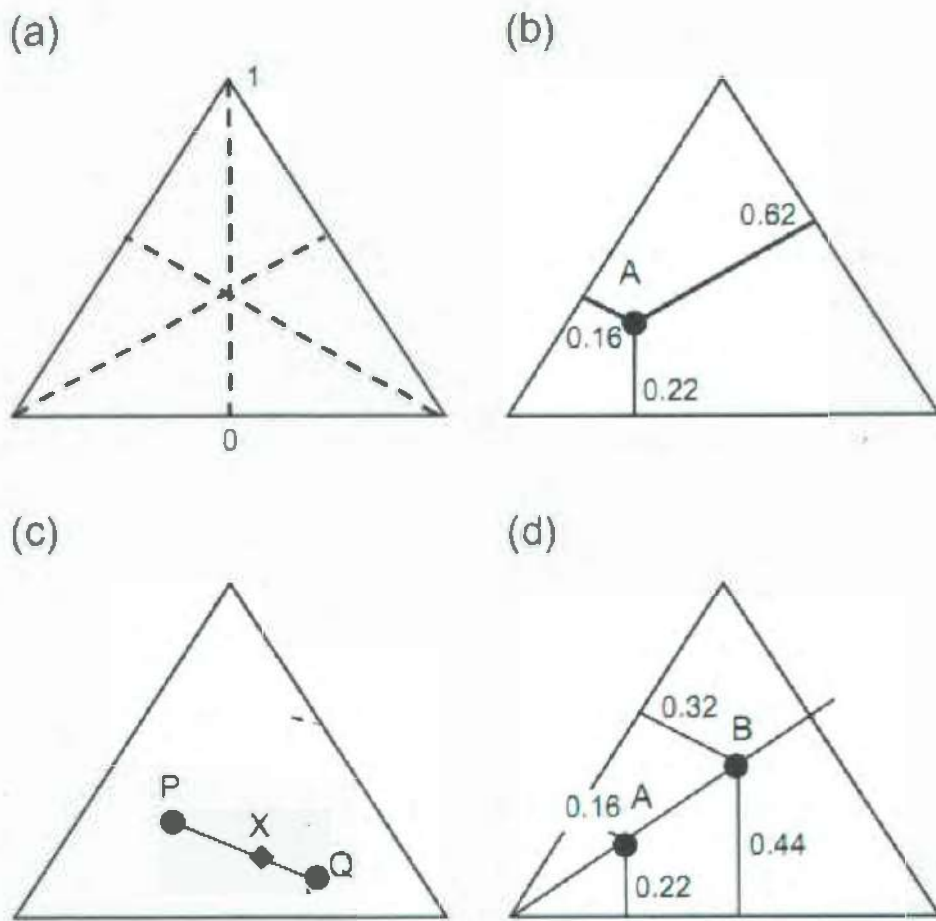


Figura A5.1. Representación de a) diagrama ternario, b) un sistema A, c) un sistema X compuesto por una combinación de los sistemas P y Q y d) una línea de sensibilidad (tomado de Giannetti, et al. 2007)

## ANEXO 6

### Cálculo de los componentes en energía para una planta solar termoeléctrica

En la literatura no se encontraron los porcentajes de los componentes para la producción de electricidad por una planta termosolar. Para realizar el cálculo de los componentes de entradas renovables (R), no renovables (N) y compradas (F) para el caso de la electricidad generada por fuente termosolar se realizó el procedimiento que se describe en este anexo.

#### A6.1. Transformidad media de la electricidad

Según Odum (1995), independientemente del tipo de proceso por el cual se genere determinado producto existe un rango de transformidades que abarcará todos esos procesos. Por ejemplo, el biocombustible obtenido por caña de azúcar, por bambú o por maíz, es el mismo producto obtenido de distintas formas y cada biocombustible tendrá una transformidad diferente, sin embargo, la transformidad para el biocombustible entrará en un rango determinado. En general este rango estará definido por una transformidad demasiado baja para la cual el proceso no puede siquiera existir, y una transformidad demasiado alta para la cual el proceso resulta demasiado demandante y por lo tanto imposible. Para Odum este rango va aproximadamente de  $67E^3sej/J$  (para la producción de electricidad a partir de madera) hasta  $417E^3sej/J$  (para la electricidad producida a partir de paneles fotovoltaicos). Esto significa que la media para la electricidad generada por cualquier tipo de fuente será  $2E^5sej/J$ .

Tomando en cuenta la explicación anterior, el valor de la producción de electricidad de una planta termosolar fue transformado a energía tomando el valor de transformidad medio para la electricidad generada por cualquier tipo de fuente.

#### Componentes R, N y F de la electricidad termosolar

La proporción entre R, N y F es esencial para poder calcular los indicadores en energía. Para una planta termosolar se consideró lo siguiente:

- La eficiencia de una planta termosolar es del 30% (IDAE, 2005).
- El costo de la electricidad de una planta termosolar es de 21 c€/kwh (IDEA, 2005)

- La razón de energía/dinero en España es de  $1.6E^{12} \text{sej}/\$$  (Odum, 1995), y la conversión de euro a dólar se tomó como  $1\text{€}=1.36\$$ .

Supongamos que se tiene una planta termosolar con una capacidad nominal de 50 MW, tomando en cuenta lo expuesto anteriormente la producción de electricidad total en un año sería de 129,600 MWh. El costo al año por producir la electricidad (y que tiene que ser pagado por los consumidores) es de 24 millones de euros o 32.6 millones de dólares. Para transformar lo anterior a energía tomamos  $2E^5 \text{sej}/J$  como la transformidad de la electricidad producida y  $1.6E^{12} \text{sej}/\$$  para el costo.

La producción total de electricidad (Y) tiene una energía de  $9.33E^{19} \text{sej}$  y los recursos obtenidos de la economía (F) para producirla tienen una energía de  $6.107E^{19} \text{sej}$ . Como sabemos que  $Y = R + N + F$ , entonces  $R + N = Y - F = 3.22E^{19}$ , lo que significa que los recursos gratuitos obtenidos de la naturaleza representan 35% de la energía total frente al 65% de los recursos obtenidos de la economía. Ahora resta conocer el porcentaje de R y de N.

Como una planta termosolar esta principalmente basada en energía renovable (del sol) se consideró una proporción mayoritaria para los recursos renovables: 28% para R y 7% para N.

## ANEXO 7

### Estimaciones

Las estimaciones realizadas para los datos de biomasa y coque de carbón se muestran en este anexo. También se presentan los cálculos realizados para obtener los consumos de combustóleo y diesel en las centrales eléctricas, y de leña en las carboneras.

#### A7.1 Estimaciones para biomasa

Los datos con los que se contó para biomasa abarcan del año 2001 al 2005 por lo que se hizo necesario estimar los valores para los años 2006 al 2009 y cumplir con el rango de tiempo objetivo de este trabajo. Para hacer esta estimación se realizó una regresión lineal con ayuda del software Microsoft Excel®. Por ejemplo, para los datos del carbón vegetal se tenía la siguiente serie de información (en toneladas) que se muestran en la tabla A7.1 y se graficó para obtener la fórmula de regresión lineal como se muestra en la figura A7.1.

1	2	3	4	5
23,609	32,115	29,377	16,527	23,942

Tabla A7.1 Serie de datos obtenidos de la CONAFOR para la producción de carbón vegetal (en toneladas).

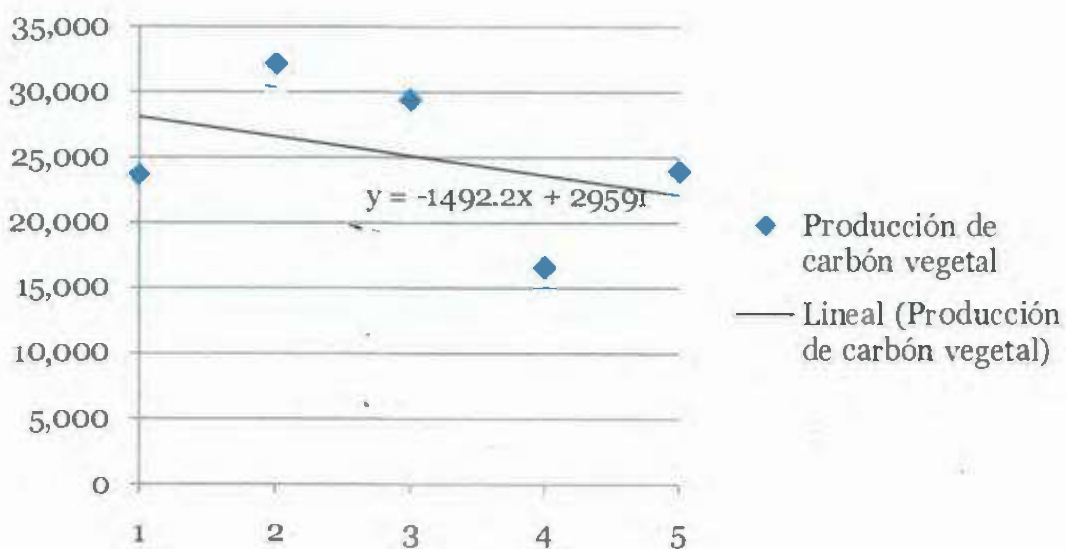


Figura A7.1. Gráfica de los datos obtenidos y fórmula de regresión lineal (constantes:  $m=1492.2$  y  $b=29591$ )

Con la fórmula obtenida se calcularon la producción para los años 2006, 2007, 2008 y 2009. Los resultados se muestran en la tabla A7.2.

2006	2007	2008	2009
20,637.8	19,145.6	17,653.4	16,161.2

Tabla A7.2. Producciones de carbón vegetal estimadas (en toneladas).

Las estimaciones para la producción de leña y la importación (consumo de la industria cementera) de coque de petróleo se realizaron de la misma forma y el procedimiento no será presentado aquí.

### A7.2 Estimaciones para coque de carbón

Para realizar la estimación de la importación y consumo de la minería de coque de carbón se realizó el siguiente procedimiento:

- Se tomó el dato de intensidad energético para la industria minera en México presentado por la SENER en el Balance Nacional de Energía 2008 para los años 2005 al 2009.

$$\text{Intensidad energética de la industria minera (2009)} = 1.8 \text{ GJ/tonelada}$$

- Se buscó la producción minera total en Sonora en toneladas, y se obtuvo del portal del Sistema de Información Estadística del Estado de Sonora (SIEES).

$$\text{Producción total de la industria minera en Sonora (2009)} = 1,426,109 \text{ toneladas}$$

- Se multiplicó la intensidad energética (en GJ/tonelada) por la producción total de la minería en Sonora. De esta operación se obtuvo el consumo energético total de la industria minera en Sonora.

$$\text{Consumo energético total de la industria minera en Sonora (2009)} = 2.57 \text{ PJ}$$

- Del mismo Balance Nacional de Energía 2008 se obtuvo el porcentaje de uso de coque de carbón en la minería (9.1%). Entonces se multiplicaron los consumos totales de la minería por este porcentaje para obtener el consumo de coque de carbón.



*Porcentaje del consumo total de la minería que pertenece al coque (2009) = 0.23 PJ*

- Después se multiplicó la cantidad resultante (en Joules) por el inverso del poder calorífico ( $3.39 \times 10^{-5}$  g/J) dando el resultado en gramos.

*Cantidad de coque de carbón usada en gramos (2009) = 7,796,610,000 gramos*

- Para terminar se ordenó el resultado para presentarlo en toneladas.

*Cantidad de coque de carbón usada en toneladas (2009) = 7,796.610 toneladas*

### A7.3 Cálculo de insumos a centrales eléctricas y carboneras

Para obtener la cantidad de insumos necesarios para la producción de energía eléctrica en las centrales de Sonora se realizó el siguiente procedimiento que será presentado para el caso de las termoeléctricas a base de combustóleo, pero que fue igual para el caso de las de turbina de gas a base de diesel y el de la leña en las carboneras.

Primero se consideró una eficiencia del 37% para las plantas termoeléctricas a base de combustóleo (se asumió la misma eficiencia para las plantas de diesel). Después se realizó la siguiente operación:

- $$\text{Insumo de combustóleo} = \frac{\text{Producción eléctrica por combustóleo}}{\text{Eficiencia de termoeléctrica}}$$

- $$\text{Insumo de combustóleo} = \frac{3,869,636 \text{ MWh} \times 3600 \times 10^6 \text{ J}}{0.37} = \frac{13.93 \text{ PJ}}{0.37} = 37.65 \text{ PJ}$$

- $$\text{Insumo de combustóleo} = \frac{37.65 \times 10^{15} \text{ J}}{40,200 \text{ J/g}} = \frac{9.36 \times 10^8 \text{ kg}}{982 \text{ kg/m}^3} = 953,481 \text{ m}^3$$