

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ingeniería
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



SUSTENTABILIDAD DEL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA EN LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO

TESIS

Que para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias

p r e s e n t a:

Patricia Navarro Alvarado

Director:

Jesús Fernando Hinojosa Palafox

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
Lista de Gráficas.	iv
Lista de Tablas.	vii
Resumen	viii
 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.	 1
Objetivos.	5
 CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	
2.1. Antecedentes del desarrollo de indicadores energéticos de sostenibilidad.	8
2.2. Antecedentes del uso de indicadores energéticos de sostenibilidad.	11
 CAPITULO III. METODOLOGÍA.	
3.1. Contexto y marco conceptual.	16
3.2. Indicadores de sostenibilidad para el sector eléctrico.	19
3.2.1. Sistematización de la información	19
3.3. Dimensiones e indicadores del desarrollo de la industria eléctrica.	25
3.3.1. Dimensión económica.	26
3.3.2. Dimensión social.	28
3.3.3. Dimensión ambiental.	29
 CAPÍTULO IV. RESULTADOS.	
4.1. Comportamiento de los indicadores de sostenibilidad por dimensión del desarrollo en la frontera norte de México.	32
4.1.1. Dimensión económica.	33
4.1.2. Dimensión social.	37
4.1.3. Dimensión ambiental.	41
4.2. Comportamiento de los indicadores de sostenibilidad por entidad federativa de la frontera Norte de México.	45

4.3. Radogramas de sostenibilidad energética de la industria eléctrica en la frontera norte de México por entidad federativa.	51
4.4. Comportamiento de los indicadores compuestos energéticos de la industria eléctrica en la frontera norte de México.	62
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA		PÁGINA
4.1	Comportamiento de la Autarquía eléctrica en la frontera norte de México.	34
4.2.	Comportamiento de la Intensidad eléctrica en la frontera Norte de México.	35
4.3.	Comportamiento de la Robustez eléctrica en la frontera Norte de México.	36
4.4.	Comportamiento del Índice de desarrollo humano en la frontera Norte de México.	39
4.5.	Comportamiento de la Cobertura eléctrica en la frontera Norte de México.	40
4.6.	Comportamiento del Consumo eléctrico per cápita en la frontera Norte de México.	41
4.7.	Comportamiento de las Emisiones de CO ₂ por generación eléctrica en la frontera Norte de México.	42
4.8.	Comportamiento de las Emisiones de NO _x por generación eléctrica.	43
4.9.	Comportamiento de la generación eléctrica con energías renovables en la frontera Norte de México.	45
4.10.	Comportamiento de indicadores energéticos en Baja California.	47
4.11.	Comportamiento de indicadores energéticos en Coahuila.	47
4.12.	Comportamiento de indicadores energéticos en Chihuahua.	48

4.13.	Comportamiento de indicadores energéticos en Nuevo León.	48
4.14.	Comportamiento de indicadores energéticos en Sonora.	48
4.15.	Comportamiento de indicadores energéticos en Tamaulipas.	50
4.16.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Baja California de 1993.	52
4.17.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Chihuahua de 1993.	53
4.18.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Coahuila de 1993.	53
4.19.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Nuevo León de 1993.	54
4.20.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Sonora de 1993.	54
4.21.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Tamaulipas de 1993	56
4.22.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Baja California de 2000.	56
4.23.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Chihuahua de 2000.	57
4.24.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Coahuila de 2000.	57
4.25.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Nuevo León de 2000.	58
4.26.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Sonora de 2000	58
4.27.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Tamaulipas de 2000.	59
4.28.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Baja California de 2006.	60
4.29.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Chihuahua de 2006.	60
4.30.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Coahuila de 2006.	61

4.31.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Nuevo León de 2006.	61
4.32.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Sonora de 2006.	62
4.33.	Radograma de Sostenibilidad Energética de Tamaulipas de 2006.	62
4.34.	Comportamiento del Indicador Compuesto de Baja California.	63
4.35.	Comportamiento del Indicador Compuesto de Chihuahua.	64
4.36.	Comportamiento del Indicador Compuesto de Coahuila.	64
4.37.	Comportamiento del Indicador Compuesto de Nuevo León.	65
4.38.	Comportamiento del Indicador Compuesto de Sonora.	65
4.39.	Comportamiento del Indicador Compuesto de Tamaulipas.	66

LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
3.1. Indicadores de sostenibilidad eléctrica.	22
4.1. Balance comercial eléctrico de los productores externos de energía en la frontera Norte de México (1992-2006).	37

RESUMEN

En este trabajo, se analiza el sector eléctrico en las entidades federativas del norte de México en el periodo comprendido entre los años de 1993 y 2006, utilizando indicadores energéticos de sostenibilidad y, tomando en consideración las dimensiones social, económica y ambiental del desarrollo, con el propósito de conocer la contribución del mencionado sector en el desarrollo sostenible de la frontera norte de México, así como las interrelaciones entre cada una de estas dimensiones. La elaboración de los indicadores se realizó teniendo como base la metodología desarrollada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y la Comisión Económica para América latina y el Caribe (CEPAL). Los indicadores elaborados corresponden a cada una de las Entidades Federativas que conforman la frontera norte de México en el periodo comprendido entre 1993 y 2006. El análisis de resultados se llevó a cabo en gráficas de series de tiempo por estado, en series de tiempo por indicador, en gráficas radiales o radogramas por año y se propone un indicador compuesto por los indicadores construidos en este trabajo. De acuerdo a los indicadores resultantes, se observa una sostenibilidad desigual entre las dimensiones, los indicadores y las entidades federativas, siendo la dimensión ambiental la que presenta menores valores de sostenibilidad y Nuevo León el estado con menor sostenibilidad en esta misma dimensión. La dimensión social es la de mayor contribución a la sostenibilidad energética, siendo la cobertura eléctrica el indicador más elevado y Sonora el estado con mayor consumo eléctrico per cápita. Ante los resultados observados, es necesario promover políticas energéticas que tiendan a elevar los valores de los indicadores más bajos, alcanzar el equilibrio tanto entre los indicadores como entre las dimensiones analizadas y entre los estados de la frontera Norte de México

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Desarrollo energético sostenible

El desarrollo sostenible implica que se utilicen los recursos que la naturaleza brinda, pensando en la posibilidad de un futuro mejor para las próximas generaciones, pero también en la distribución equitativa, consumo moderado y suficiente de los mismos en la actualidad. En el siglo pasado se pensaba que las sociedades habían adoptado conductas dispendiosas en el consumo de los recursos naturales, debido a que la fórmula del desarrollo se basaba en la extracción exhaustiva de recursos naturales, hoy en día se considera que las transformaciones realizadas al ambiente, por la aplicación de la ciencia y la tecnología ya no sólo resuelven los problemas del desarrollo, sino que también los genera en formas diversas y complejas y su impacto puede ser local, regional y global. Se ha tomado conciencia de que la humanidad es parte integrante de la naturaleza y de la importancia de esta interrelación en el desarrollo humano mismo.

La preocupación por el patrón insostenible de desarrollo no es nueva, conferencias y cumbres de la Organización de Naciones Unidas (ONU) dan cuenta de ello: las Declaraciones de Estocolmo en 1972, de Río en 1992 y la de Johannesburgo en 2002; todas ellas coinciden en determinar como causa principal del deterioro continuo del ambiente global, el patrón insostenible de producción y consumo en los países desarrollados; mientras que la degradación ambiental en los países en vías de desarrollo está estrechamente relacionada con la pobreza. Al mismo tiempo, se reconoce la naturaleza integral e interdependiente de la tierra y ésta a la vez como nuestro hogar, se reafirma el compromiso con el desarrollo sostenible. En la Agenda 21 (A21) de la Declaración de Río, se llama a armonizar los esfuerzos para desarrollar indicadores de desarrollo sostenible con diferentes niveles de agregación territorial, es decir, locales, nacionales, regionales y globales, presentados en conjunto a manera de reportes y bases de datos ampliamente accesibles y regularmente actualizados, que provean bases sólidas para la toma de decisiones a todos los niveles.

En el Capítulo 40 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (ONU, 1992) se aborda el tema de la información necesaria para la adopción de decisiones que apoyen la planeación del desarrollo sostenible. Con ese propósito se afirma que:

“es preciso elaborar indicadores del desarrollo sostenible que sirvan de base sólida para adoptar decisiones en todos los niveles y que contribuyan a una sostenibilidad autorregulada de los sistemas integrados del medio ambiente y el desarrollo” (ONU, 1992, Cap.40).

En cuanto a la elaboración de indicadores de desarrollo sostenible (IDS) y su promoción para uso mundial debiera desarrollarse el concepto de IDS y su uso en las cuentas nacionales, asimismo,

“los órganos y las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas, en coordinación con las demás organizaciones interesadas, podrían hacer recomendaciones para el desarrollo armónico de indicadores en los planos nacional, regional y mundial y para la incorporación de un conjunto apropiado de estos indicadores en informes y bases de datos comunes de acceso generalizado”
(ONU, 1992, Cap.40).

De esta manera, si se enfoca la elaboración de IDS bajo la consideración de vincular los sistemas integrados del medio ambiente con el desarrollo y además se incluyen los planos nacional, regional y mundial, se estará en posibilidad de determinar las tendencias en el desarrollo en todas sus dimensiones y en diferentes grados de territorialidad.

De acuerdo a la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), se puede definir un conjunto de indicadores para caracterizar y comparar situaciones entre diferentes países, ya sea en forma transversal, y/o en su comportamiento temporal, para cada uno de ellos. Se trata de caracterizar “situaciones” respecto de las diferentes dimensiones de la sustentabilidad; siendo posible definir algunos patrones de situaciones que se aproximan a la realidad de diferentes países, debiendo considerar ese tipo de análisis como una primera

aproximación a la caracterización de las situaciones concretas (OLADE, 2003, 33). Hasta hoy, se han desarrollado indicadores a nivel nacional para la evaluación del uso sostenible de recursos naturales vitales y estratégicos como el agua, la atmósfera, la energía, el transporte, la agricultura, entre otros. En el caso de la energía, se desarrollaron indicadores por la OLADE (OLADE, 1997, 3-83) y por la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA, 2002, 1-161).

Este trabajo propone un conjunto de indicadores energéticos de sostenibilidad (IES) para las dimensiones social, económica y ambiental del desarrollo, y un indicador integrado por el conjunto de indicadores elaborados en este trabajo. El objetivo es caracterizar y comparar situaciones de la industria eléctrica en las entidades federativas de la frontera norte de México. El análisis se realiza en el periodo comprendido entre los años de 1993 y 2006. Y, debido a que el nivel mínimo de agregación territorial de los indicadores elaborados por la OLADE y la AIEA es nacional, otra intención de este trabajo, es presentar la posibilidad del estudio por región y por sector incluyendo una base de datos sistematizada para la construcción de indicadores en Comportamiento temporal de cada una de las entidades federativas ya mencionadas.

El desarrollo de la metodología de indicadores de desarrollo energético sostenible se explica a través del trabajo de diferentes iniciativas de agencias internacionales. La contribución de la industria eléctrica se evalúa con un conjunto de indicadores propuestos, los cuales cubre las dimensiones más importantes del desarrollo: la económica, la social y

la ambiental. Asimismo se propone un indicador integrado con todos los indicadores aquí utilizados.

Objetivo general:

Evaluar comparativamente la sostenibilidad del desarrollo de la industria eléctrica en las entidades federativas de la frontera norte de México en un periodo determinado.

Objetivos específicos:

- ⊕ Elaborar indicadores de desarrollo energético sostenible (IDES), retomando algunos elementos de la metodología correspondiente desarrollada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA).
- ⊕ Adecuar y aplicar la metodología de la OLADE-CEPAL y de la AIEA para la construcción de IDES para la industria eléctrica de México y las entidades federativas que componen su frontera norte.
- ⊕ Recabar información de instituciones oficiales y de reconocimiento profesional para lograr una base de datos fiable y suficiente para el cálculo de los indicadores correspondientes a las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo.

- ⊕ Realizar la evaluación comparativa con analisis de series de tiempo de los IDES para la industria eléctrica.
- ⊕ Realizar la evaluación comparativa de las dimensiones económica, social y ambiental en su conjunto del desarrollo en un tiempo determinado.
- ⊕ Contribuir al desarrollo de la metodología en la construcción de indicadores de desarrollo energético sostenible.
- ⊕ Elaborar un indicador compuesto (IC) por los indicadores normalizados que se utilizan en la evaluación de todas la dimensiones en su conjunto.

Organización de la tesis:

El trabajo se desarrolla en 5 capítulos. El capítulo 1 es la introducción con mención de algunos aspectos generales del tema, asimismo se detallan el objetivo general y los específicos y se explica el contenido de la tesis. En el capítulo 2, se presenta la revisión bibliográfica con la pesentación de algunos antecedentes del desarrollo y aplicación de indicadores energéticos de sostenibilidad. En el capítulo 3, de la metodología, se abordan el contexto, el marco conceptual y la explicación de la metodología desarrollada en la elaboración de los indicadores de sostenibilidad para el sector eléctrico, también se da cuenta de las diferentes fuentes de información consultadas. En el capítulo 4, se presentan los resultados, en primer lugar, su Comportamiento en el tiempo de los indicadores en la frontera norte de México en cada dimensión del desarrollo estudiada, en segundo lugar, los

radogramas de sostenibilidad energética y en tercero, el indicador compuesto de sostenibilidad para la industria eléctrica. El capítulo 5 corresponde a las conclusiones de este trabajo.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes del desarrollo de indicadores energéticos de sostenibilidad

La Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) en cooperación con el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (DAESNU), Eurostat y la Agencia Ambiental Europea (AAE), llevaron a cabo la iniciativa internacional para definir un conjunto de indicadores energéticos para el desarrollo sostenible (IEDS), siendo “...*el objetivo de este reto conjunto... proveer a los usuarios de un serie sencilla de indicadores energéticos de uso mundial, que contaran con el consenso de líderes expertos en definiciones, guías y metodologías para el desarrollo*” (AIEA 2002, 1).

El marco temático, guías, hojas metodológicas e indicadores energéticos propuestos en esta publicación reflejan la pericia de varias agencias, reconocidas mundialmente como líderes en estadística y análisis de energía y medioambiental. Aunque cada agencia tiene un programa activo de indicadores,

“Estos indicadores no son definitivos, se utilizan de acuerdo a las condiciones, prioridades y capacidades de cada país. Su nivel de aplicación es nacional y sirven como punto de partida al desarrollo de un más comprensivo y universalmente aceptado conjunto de indicadores energéticos relevantes para el desarrollo sostenible. Se espera que se usen para que los países evalúen sus sistemas energéticos y perfilen su progreso hacia metas y objetivos nacionales de desarrollo sostenible” (AIEA, 2002, prefacio).

Arshad Khan y Garegin Aslanian de la Sección de Estudios Económicos y de Planeación de la AIEA, inician en 1999, el trabajo de concebir indicadores en el contexto del desarrollo sostenible, cuyos resultados preliminares fueron presentados por la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) en cooperación con la Agencia Internacional de Energía (IEA) en 2001. Posteriormente bajo una iniciativa internacional registra indicadores energéticos en la Cumbre de la Tierra sobre Desarrollo Sostenible en 2002. El reporte de este trabajo, incluye una lista de indicadores clasificados de acuerdo a las dimensiones, temas y subtemas, también incluye temas y contextos usados para definir y usar los indicadores y una guía para seleccionar y discutir sus limitaciones, dificultades, restricciones para su análisis positivo y evitar malas interpretaciones estadísticas. Se presentan hojas

metodológicas para el uso de cada uno de los 30 indicadores formulados (AIEA, 2005, 1-161).

Para la medición o evaluación del desarrollo sostenible en la región mencionada, se realizó el proyecto “Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Enfoques para la política energética”, en forma conjunta entre la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ, por sus siglas en alemán). Dicho proyecto tuvo:

“El objetivo central es presentar los elementos básicos necesarios en los procesos de identificación y formulación de políticas energéticas conducentes a una mayor sustentabilidad del desarrollo, así como también discutir sobre los instrumentos y enfoques que permitan mejorar las condiciones de viabilidad de las políticas que se formulen” (OLADE-CEPAL-GT, 2003, 14).

En este proyecto se aborda el estado del desarrollo económico, social, ambiental y energético de América Latina y el Caribe y su sostenibilidad, priorizando en el análisis la influencia del sector energético en la sostenibilidad, así se evalúan las interrelaciones que la energía tiene con la economía, la equidad social y los recursos naturales de los países de la región mencionada (OLADE 1997, 9).

2.2 Antecedentes del uso de indicadores energéticos de sostenibilidad

Investigadores cubanos analizan el desarrollo del sector energético de su país durante el periodo comprendido en la mitad del pasado siglo, especialmente los últimos 25 años, enfatizando los aspectos social, económico ambiental e institucional. El uso de la energía es evaluado con los IDES desarrollados por la AIEA, basados en series de datos de la Oficina Nacional de Estadística de Cuba. La economía de Cuba y su sector energético tienen importantes cambios ocurridos, particularmente en 1990, durante la crisis que resultó de la interrupción de la relación comercial con los países ex-socialistas. Basados en un análisis de la economía de Cuba y su sector de la energía, un número de políticas fueron seleccionadas para su evaluación, incluyendo sus objetivos para reducir la dependencia de las importaciones de energía, incremento del espectro de fuentes renovables, e impulsando la eficiencia energética, los efectos de estas políticas son evaluadas en vista del desarrollo energético sostenible. El artículo concluye con una evaluación del progreso reciente enfocado hacia el desarrollo energético sostenible en Cuba, y esbozos para opciones futuras para el país (Pérez, López y Berdellans 2005, 298-307).

Otro trabajo relacionado con la aplicación de indicadores energéticos de sostenibilidad, se realizó en México, retomando los indicadores desarrollados por la AIEA. El estudio se enfoca a la elaboración de indicadores socio-económicos y ambientales relacionados con el uso y producción de energía, con un enfoque para evaluar políticas energéticas existentes en México e identificar estrategias y posibles políticas que puedan brindar un mejoramiento en las principales áreas prioritarias: intensidad energética, emisiones atmosféricas,

dependencia de las importaciones y uso de fuentes de energía renovables. Mientras se observa una tendencia positiva en relación con la intensidad energética y las emisiones ambientales, México es cada vez más dependiente de las importaciones de gasolina, gas natural y fuentes de energía secundarias de alto valor, así como cantidades significativas de exportaciones de combustibles primarios, como el petróleo crudo. También se observa un incremento poco significativo en el uso de renovables. Es necesario formular y reforzar políticas sociales, económicas y ambientales para el sector energético y relacionadas con la inversión pública y privada para que todos los sectores de la economía tengan acceso a la energía de fuentes más limpias y diversas (Medina-Ross, Mata-Sandoval y López-Pérez 2005, 308-321).

En Brasil se llevó a cabo un proyecto de uso de indicadores de desarrollo energético sostenible con el fin de orientar a los que elaboran políticas relacionadas con la construcción de bases de datos económicos, sociales y ambientales para que ésta se realice en una forma coherente y consistente, al tiempo que muestre las interrelaciones, series de tiempo y análisis de cruce de sectores, todo esto con el propósito final de que sirvan de sustento para el enfoque de las políticas energéticas. Se definieron como áreas prioritarias la oferta y la demanda para la selección y aplicación de indicadores, que ayudarían a la identificación de opciones de políticas energéticas enfocadas en aspectos específicos del sector de la energía del país. Del lado de la oferta, estas opciones incluyen desarrollo y estímulo de energías renovables, como la hidroelectricidad a pequeña escala, generación con viento, energía solar fotovoltaica y cogeneración del bagazo de caña y estimulación de programas para el uso del etanol como combustible para automóviles y cogeneración del

bagazo de caña y la implementación de plantas de ciclo combinado a base de gas natural. Del lado de la demanda las opciones de política incluyen: la implementación total de leyes para estándares de eficiencia energética en equipo electrodoméstico; expansión de la inversión pública y eficiencia energética en el uso final de la energía; adopción de objetivos y protocolos para reducir la intensidad energética en la industria, mejoramiento de la eficiencia del transporte de pasajeros; y la creación de un fondo para mejorar la accesibilidad para los pobres (Schaeffer, R., Szklo, Salem, Monteiro Cima, F, Machado G 2005, 284-297).

Sin embargo, la sostenibilidad del sector eléctrico ha experimentado diferentes enfoques en la evaluación de sus impactos económicos, sociales y ambientales. Los estudios sobre metodologías de evaluación, como el desarrollado por Kim (Kim, 2007, 413-423), se han centrado en los fundamentos teóricos y metodológicos, revisiones críticas de estudios específicos, los discursos de sus resultados, y las implicaciones para el futuro de las políticas ambientales y de investigación. Anderson et al., proponen adoptar una retrospectiva más amplia del medio ambiente y de responsabilidad social a través de una apreciación más perspicaz de los conocimientos actuales y por lo tanto, una agenda política más flexible y sensible (Anderson, 2001, 607-623). Karger et al., investigaron las ventajas y desventajas de la generación descentralizada de energía eléctrica con respecto al concepto global de desarrollo sostenible, y ellos coincidieron en que las condiciones técnicas y económicas límite son de gran importancia en este campo, aunque la seguridad en el suministro de electricidad es todavía un tema de controversia. En lo concerniente a la aplicación de indicadores de sostenibilidad (Karger y Hennings, 2009, 583-593), Albrecht

propone que los sistemas económicos pueden considerarse ecosistemas especiales; que sirven como indicadores clave para la energía en los ecosistemas debido a que el tipo más valioso de la energía utilizada en los sistemas económicos de los países industrializados es la electricidad, se encontró una relación linear entre el patrón de crecimiento del consumo eléctrico y el producto interno bruto. La contribución de los autores fue presentar esta relación e iniciar la discusión tanto de las causas como de sus interpretaciones (Albrecht, 2008, 127-133).

Otro estudio de indicadores energéticos incluye el análisis de convergencia en la intensidad eléctrica en una muestra de países de la Agencia Internacional de Energía (AIE), lo cual resultó en una agrupación de países de acuerdo a la variabilidad de convergencia por tipo de electricidad utilizada (Liddle, 2009, 1470-1478). Cancino investigó el sector eléctrico de México y su contribución en el uso de fuentes de energía renovables, resaltando la importancia de impulsar políticas de incremento en el uso de este tipo de fuentes de energía (Cancino, 2009). En este mismo país se realizó un estudio comparativo de la sostenibilidad del desarrollo de la industria eléctrica de México y el Estado de Sonora cuyos resultados muestran, en términos generales, una mayor contribución de la industria eléctrica en dicho Estado, que la industria eléctrica en el país (Navarro, 2003, 1-85).

En relación a los indicadores compuestos la CEPAL preparó una “Guía metodológica Diseño de Indicadores Compuestos de Desarrollo Sostenible”, este documento trata de poner en conocimiento las bases conceptuales y las herramientas metodológicas aplicables al proceso de diseño, cálculo y análisis de un indicador compuesto de desarrollo sostenible

definido a nivel de una unidad de análisis (por ejemplo, a nivel de países). Se resalta, a lo largo del texto, la necesidad de clarificar los objetivos y el contexto en el que se construirá el indicador compuesto para darle sustento conceptual, así como de disponer de información de calidad que le de validez. Se destaca también la importancia de utilizar las herramientas metodológicas con rigurosidad en cada etapa del proceso de construcción, con el fin de obtener un indicador compuesto con sustento técnico. Estos tres elementos se consideran indispensables para que el indicador compuesto sea útil y efectivo para el fin para el que sea construido (Schuschny y Soto, 2009, 7).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Contexto y marco conceptual.

En México el sector eléctrico está íntimamente ligado a su historia como parte integrante y soporte de su desarrollo como nación, ha sido uno de los principales baluartes del Estado benefactor mexicano. Tuvo un largo y difícil proceso de nacionalización que inicia en 1928 con el Código Nacional Eléctrico que declara a la industria eléctrica como de utilidad pública, continuando con la creación de la Comisión Federal de Electricidad en agosto de 1937, acción que estaba dentro del propósito nacionalizar la generación y distribución de electricidad y culmina en la década de los sesenta con la nacionalización de la industria eléctrica y la conformación de ésta como monopolio estatal.

En el marco de las negociaciones del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) se lleva a cabo en México la reforma más reciente a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE).

“El TLCAN negociado entre Canadá, México y Estados Unidos que entró en vigor el 1 de enero de 1994, introduce algunas innovaciones referentes a las industria eléctrica, principalmente la posibilidad de establecer y operar en México plantas de producción de energía eléctrica privadas” (Viqueira 1994, 417).

Esta reforma consistió básicamente en una reinterpretación del servicio público que permitió la participación de capital privado en la generación eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción, generación eléctrica para ventas a CFE, generación para exportación por los tres mecanismos anteriores e importación para consumo propio. Con la entrada de los productores independientes de energía (PIE) en la industria eléctrica se crea un régimen mixto, el cual lleva más de una década años de estar funcionando en este régimen mixto, por lo que se considera la necesidad de realizar una evaluación del mismo, *“procede ahora analizar cuál podrá ser la evolución en el futuro próximo de la industria eléctrica mexicana, en el contexto de una economía de mercado cuya expresión más reciente es el actual TLCAN” (Viqueira 1994, 423).*

Por otro lado, la frontera norte de México ha tenido eventos muy importantes en los que ha cambiado tanto la línea divisoria con la pérdida de la mitad del territorio mexicano, o las diversas declaraciones de perímetros y zonas libres para protección de la economía local.

Asimismo desde la década de los sesenta del siglo pasado inicia el proceso de repliegue industrial con la instalación de una gran cantidad de maquiladoras a lo largo de todo el territorio fronterizo, que ha permanecido y evolucionado de diversas maneras hasta nuestros días. La política de apertura del gobierno mexicano antes del TLC, permitió la entrada de capitales importantes como la industria automotriz y el ingreso de las mismas maquiladoras más allá de la frontera; sin embargo,

“con la llegada del TLCAN en los noventa, la frontera se consolidó como un espacio intensamente internacionalizado, de perfil distinto respecto a otras regiones del país, donde aparecen nuevas figuras económicas y sociales” (Vázquez 2007, 2).

Es importante poner énfasis en el periodo que inicia con la entrada en vigor del TLCAN hasta la actualidad y en función de ello proponer una metodología de estudio de la frontera México-EUA, ya que este periodo se caracteriza por una intensa recomposición de dicha zona, tanto por los cambios previos a la globalización como los propiciados por ella misma, así se hace patente

“la necesidad de ensayar nuevas interpretaciones de los fenómenos fronterizos regionales que en primer lugar, definan el espacio de estudio más allá de la línea fronteriza tradicional. En este sentido la frontera es más compleja y difusa y llega hasta donde se reproducen relaciones económicas y sociales de agentes de ambos países. Si bien es cierto que éstas se encuentran en lo más profundo de la geografía

de México y Estados Unidos, es en los estados limítrofes donde se concentran y son más intensas. Esa es la nueva frontera” (Vázquez, 2007, 4).

3.2 Indicadores de sostenibilidad para el sector eléctrico.

Esta presentación, propone un conjunto de indicadores energéticos de sostenibilidad (IES) para las dimensiones social, económica y ambiental del desarrollo sostenible, con el objetivo de caracterizar y comparar situaciones de la industria eléctrica en México y las entidades federativas (Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas) de su frontera norte, en el periodo comprendido entre los años de 1993 y 2006, lo cual representa la posibilidad de estudios por región y por sector. Además se incluye la metodología de búsqueda, recopilación y sistematización de información para la construcción de una base de datos suficiente y confiable para utilizar en el cálculo de los indicadores de desarrollo energético sostenible (IDES) (Cuadro 2.1).

3.2.1 Sistematización de la información:

Debido a la importancia de contar con una base de datos fiable y suficiente, la búsqueda de información fue una parte fundamental del presente trabajo, en primera instancia la recopilación de datos se llevó a cabo de diferentes fuentes considerando referencias de instancias y organismos de reconocimiento nacional e internacional. La recopilación, organización y sistematización de los datos se hizo en el programa computacional Microsoft Excel, lo que permitió organizar y sistematizar la base de datos con la que se

realizaron los cálculos, y posteriormente se graficaron los indicadores resultantes. A continuación se mencionan y describen las fuentes de información aquí utilizadas:

Comisión Federal de Electricidad edita cada año la publicación “Estadísticas por Entidad Federativa”, en donde presenta información a nivel nacional y por estado, organizada en los siguientes apartados: *Grado de Electrificación*: desglosado por viviendas y habitantes beneficiados. *Obra Realizada* en donde se detallan el servicio por centros de población o habitantes beneficiados con instalación de postes y líneas y electrificación de pozos de riego. En el apartado *Centrales Generadoras* se presenta la información por tipo de planta, combustibles utilizados, capacidad instalada y energía producida por cada central. En el apartado *Información Comercial* se describe el servicio por tarifas, usuarios, ventas en unidades de energía producida y productos en miles de pesos. De esta publicación obtuvimos la cobertura eléctrica en el apartado Grado de Electrificación y en el de Centrales Generadoras la capacidad efectiva, energía producida total y la energía producida por fuentes renovables para cada estado. En el apartado de Información Comercial obtuvimos las ventas y los productos. Estos datos sirvieron para construir los tres indicadores de la dimensión económica. Cobertura eléctrica y Consumo eléctrico por habitante de la dimensión social y Uso de fuentes renovables de la dimensión ambiental (CFE, 1993-2006).

El **INEGI** tiene en su portal de internet el *Banco de Información Económica (BIE)*, con los *Sistemas Nacionales y Estadísticos y de Información Geográfica (SNEIG)* en donde se puede consultar por Cobertura Temática diversos parámetros entre los que se encuentra el

PIB por Entidad Federativa presentados en cifras quinquenales y anuales en series históricas a precios corrientes y precios constantes, en valores absolutos, porcentuales y por Gran División Económica en el total de la actividad económica, de tal manera que se puede consultar el PIB de las entidades federativas necesarias y el total nacional. De esta manera consultamos el producto interno bruto para cada estado de la frontera norte, que utilizamos para la construcción de los indicadores productividad y robustez eléctricas (INEGI, 2009).

La Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, A. C. (ATPAE) realizó el proyecto “Selección de Metodología para Calcular las Reducciones de CO₂ de Proyectos de Eficiencia Energética y Energías Renovables” auspiciado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional / México (USAID/México).

Tabla 2.1. Indicadores de sostenibilidad eléctrica.

Indicador	Definición	Normalización
Autarquía eléctrica	Producción eléctrica (GWh)/ Consumo eléctrico (GWh)	1=1 0 = 0
Robustez eléctrica	PIB eléctrico (MMX\$)/ PIB total (MMX\$)	1 = 49.455
Productividad eléctrica	PIB Estatal (MMX\$)/ Energía producida (kWh)	1 = 9331.32 MMX\$/kWh
Cobertura eléctrica	Habitantes beneficiados/ Total habitantes	1 = 100% 0 = 0%
Consumo eléctrico por habitante	Consumo eléctrico (GWh) /Total de habitantes	1 = 4000 kWhpc
Emisiones de CO ₂ por generación termoeléctrica	CO ₂ producido (Ton)/ generación termoeléctrica (GWh)	$0 \geq 1,179.33 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$ $1 \leq 372.98 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$
Emisiones de NO _x por generación eléctrica	NO _x producidos/ generación termoeléctrica	$0 \geq 6.112 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$ $1 \leq 10.795 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$
Uso de fuentes renovables en la generación eléctrica	Uso de fuentes renovables/ Generación eléctrica total	0 = 0 % 1 = 100%

El objetivo general del proyecto de ATPAE fue “recomendar una metodología para calcular líneas base de las tasas de emisión de CO₂, la cual se utilizará para el cálculo de las emisiones obtenidas al aplicar proyectos de Eficiencia Energética o de Energías Renovables” (ATPAE, 2002).

La información que presenta ATPAE del comportamiento de las plantas que operan en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN); como los consumos de combustible, la generación de cada planta, así como su ubicación en las diferentes regiones del SEN la obtuvieron de la publicación anual de Comisión Federal de Electricidad: Informe de Operación. Además recopilaron información de la Prospectiva del Sector Eléctrico Nacional, publicación de la Secretaría de Energía. El cálculo de emisiones totales de CO₂, la realizaron para cada planta. Las cuales se obtuvieron multiplicando el consumo de combustible por el factor de emisión del combustible correspondiente y esto para cada combustible utilizado en esa planta; las emisiones totales por cada planta, son la sumatoria de las emisiones para los diferentes tipos de combustible. Los factores de emisión utilizados para los diferentes combustibles, son los reportados por la metodología del IPCC. El factor de emisión de CO₂ de cada planta se obtiene de dividir las emisiones totales de CO₂ de cada planta entre la generación neta de dicha planta. Sus resultados se presentan para cada planta, su ubicación, capacidad, generación y las emisiones de CO₂, NO_x, SO₂ y Hg. En este caso se utilizaron las emisiones de CO₂, NO_x para la construcción de los indicadores Emisiones de CO₂ y Emisiones de NO_x correspondientes a la dimensión ambiental.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD): De aquí se obtuvo los índices de desarrollo humano de México y las entidades federativas de su frontera norte, los cuales se utilizaron tal y como se presentan en su informe.

Con los indicadores resultantes se elaboraron gráficas de series de tiempo para ilustrar la Comportamiento de los indicadores durante un periodo de tiempo (1993–2006). Con estas

gráficas se hacen comparaciones entre el desarrollo de cada una de las entidades federativas con el propósito de destacar aspectos importantes en lo que tienen de común y lo que los distingue.

Por otro lado, los indicadores mencionados en la sección anterior, se normalizaron para permitir la comparación entre diferentes parámetros, así como para definir estándares de sostenibilidad y a su vez permitir una evaluación cuantitativa de la sostenibilidad de la industria eléctrica en la frontera norte de México. El criterio de normalización es según el tipo de indicador. Los indicadores resultantes se presentan en gráficas radiales o radogramas, los cuales permiten observar en una sola gráfica las tres dimensiones en un tiempo determinado. Además se presenta un indicador compuesto de sostenibilidad energética (ICSE) dado por la combinación de todos los indicadores normalizados utilizados en los radogramas. El ICSE se determina calculando el área del polígono resultante en las gráficas radiales y se presentan en gráficas de Comportamiento temporal en el periodo estudiado.

En la “Guía metodológica, diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible” de la CEPAL, se dice que un indicador compuesto (IC) es una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente. Puede ser de carácter cuantitativo o cualitativo según los requerimientos del analista. En términos técnicos, un indicador se define como una función de una o más variables, que conjuntamente “miden” una característica o atributo de los individuos en estudio; es decir, se denotará como indicador compuesto, en cuyo caso se

están midiendo características multidimensionales (e. g. calidad ambiental, salud humana, etc.). La construcción de un indicador compuesto requiere de dos condiciones básicas, a saber: i) la definición clara del atributo que se desea medir y ii) la existencia de información confiable para poder realizar la medición. Estas condiciones son indispensables para poder plantearse la posibilidad de construir un indicador compuesto, la satisfacción de la primera condición dará al indicador compuesto un sustento conceptual, mientras que la segunda le otorgará validez. Las condiciones deben validarse antes de considerar los aspectos metodológicos de la construcción del indicador compuesto. Un requerimiento adicional para la construcción de un indicador compuesto es la definición de un objetivo claro, por el cual se está creando. En la mayoría de los casos, los indicadores compuestos se construyen con el objetivo de medir el desempeño de una unidad de análisis en un área o tema determinado, lo que puede ser utilizado como punto de partida para el estudio de la situación de la misma ya que proporciona información acerca de una cuestión de relevancia y permite percibir una tendencia o fenómeno (Schuschny y Soto, 2009, 10-12).

3.3 Dimensiones e indicadores para la industria eléctrica en la frontera norte de México.

A continuación se describe el conjunto de indicadores para la industria eléctrica por dimensión del desarrollo que se elaboraron para este trabajo.

3.3.1 Dimensión económica.

Cada indicador muestra un aspecto de la dimensión económica; sin embargo, la interpretación de ellos en su conjunto brinda elementos suficientes para una clasificación global de la contribución del sector eléctrico a la sostenibilidad del aspecto económico de la región. Autarquía, robustez y productividad eléctricas son conceptos que brindan una visión del desempeño económico del sector eléctrico en una región frente a otra, del grado de integración, de su capacidad para cubrir la demanda propia, de su dependencia y vulnerabilidad debidas a la necesidad de importaciones o la fortaleza en caso de cubrir su demanda; de sus eficiencias productiva y energética, así como de las necesidades de abastecimiento y financiamiento para el desarrollo tanto del sector, como de la economía de dicha zona. A continuación se describe a detalle estos tres conceptos:

Autarquía eléctrica: Se define por la razón de la energía eléctrica producida y el consumo eléctrico (electricidad producida/consumo eléctrico), cuyos valores se encuentran en unidades de energía. Este indicador proporciona información de la autosuficiencia de la región de que se trate, si es capaz de cubrir sus necesidades con la generación eléctrica propia. A mayores valores de autarquía mayor es la sostenibilidad.

Productividad eléctrica: Es la relación entre el consumo eléctrico estatal y la producción de la economía estatal (consumo eléctrico/PIB estatal), también dado en unidades de energía. Estos índices están directamente asociados con un buen nivel de actividad económica, lo que proporciona, a su vez un buen nivel de vida. En primera instancia una

alta intensidad eléctrica habla de buenos niveles de sostenibilidad; sin embargo, también puede deberse a un bajo consumo lo que no significaría que la economía tuviera buenos niveles de eficiencia energética o suficiente abastecimiento de electricidad. Si se evalúa a la par de la autarquía y del consumo eléctrico por habitante, podemos diferenciar en ambas situaciones.

Intensidad eléctrica: Es la relación entre la producción de la economía estatal y el consumo eléctrico estatal ($\text{PIB estatal} / \text{consumo eléctrico estatal}$) también dado en unidades de energía. Este indicador sólo se utiliza en las gráficas de series de tiempo.

Robustez eléctrica: Es el índice dado por la producción eléctrica en miles de pesos entre el producto interno bruto estatal en miles de pesos ($\text{producción eléctrica} / \text{PIB estatal}$), es un indicador de la participación de la producción eléctrica a la producción total de los estados, de tal manera que la sostenibilidad es mayor si se tiene baja participación ya que significa que no dependen únicamente de este sector en particular. Para la interpretación de este indicador se establece un intervalo de referencia en relación al nivel de desarrollo de otros estados o países, en este caso se ha tomado de referencia la robustez eléctrica de los estados de la frontera sur de EE.UU.

3.3.2 Dimensión social.

Con los indicadores seleccionados para la dimensión social, se da cuenta de la contribución del sector eléctrico al ámbito social del desarrollo en las entidades federativas del norte de México. Para esta dimensión se seleccionaron tres indicadores: la cobertura eléctrica, el consumo eléctrico por habitante y el índice de desarrollo humano (IDH).

Cobertura eléctrica: Es el porcentaje de habitantes que tiene acceso a la energía eléctrica y a los beneficios que conlleva contar con este servicio básico, e imprescindible para una buena calidad de vida. Representa la satisfacción de necesidades elementales en los hogares, como la iluminación, alimentación, salud, confort, cultura y esparcimiento. En la metodología consultada se recomienda un indicador como la cobertura de necesidades energéticas básicas y en este caso, lo más cercano a ello, fue la cobertura eléctrica.

Consumo eléctrico por habitante: Es el resultado de dividir el total del consumo eléctrico entre el número total de habitantes de una región, dado que es un promedio del consumo eléctrico entre la población, no considera las diferencias económicas entre los habitantes pero si proporciona una visión general de la región y permite comparar la situación de las mismas.

Índice de desarrollo humano: El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es un indicador del desarrollo humano por país, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Es un indicador social estadístico compuesto por tres parámetros: vida

larga y saludable, educación y nivel de vida digno. Cada dimensión es medida a partir de variables establecidas por las propias Naciones Unidas. Las estadísticas del IDH se presentan a nivel nacional, estatal y municipal, en este estudio se utilizaron las que se reportan por estado.

El IDH no se utilizó en los radogramas porque no es un indicador directamente relacionado con el sector de la energía; sin embargo, se incluye en las gráficas de series de tiempo para complementar el estudio, dado que los indicadores sociales recomendados por la OLADE y la AIEA, requerían de información que no se encuentra disponible tanto para el periodo como para las regiones del caso.

3.3.3 Dimensión ambiental.

En la dimensión ambiental se evalúa el impacto que el sector eléctrico tiene sobre el ambiente, a través de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones de dióxido de carbono (CO₂), como uno de los gases de invernadero y a las emisiones de NOx como uno de los más tóxicos y reactivos en el aire y que forman parte de la composición del smog fotoquímico, ambos gases son producto del uso de combustibles fósiles en la generación eléctrica con lo que se visualiza la situación del parque termoeléctrico que, de 2006 a 2011, presentó un promedio de 83% en el total del sistema eléctrico mexicano. Otro aspecto importante ambiental es la contribución de las fuentes energéticas limpias o renovables en la producción de electricidad, que actualmente es de casi del 17%, (de 2006 a

2011), entre hidroeléctrica, geotérmica, eólica y marginalmente solar. Con lo que se da una visión del avance en la diversificación de las fuentes primarias de energía.

Uso de fuentes renovables: Es un indicador (en porcentaje) que está definido por la razón entre la energía total producida y la energía producida con energías renovables (energía producida/energía renovable). Brinda información de la contribución de las fuentes energéticas renovables a la energía eléctrica total producida. A mayor aportación de las energías renovables mayor sostenibilidad debido a las emisiones de contaminantes no emitidas a la atmósfera.

Emisiones de dióxido de carbono: Son las toneladas de CO₂ emitidos por cada GWh de electricidad generado por el parque termoeléctrico en las entidades federativas. El aumento del CO₂ en la atmósfera ha contribuido al problema ambiental conocido como calentamiento global. El dióxido de carbono y el agua presentes en la atmósfera, absorben la radiación infrarroja provenientes de la luz solar emitidas por parte de la Tierra, lo que permite que la temperatura media de la tierra se mantenga relativamente constante, sin embargo el incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera ha tenido como consecuencia la elevación de la temperatura ambiente. Una de las consecuencias del incremento en la temperatura ambiente es el derretimiento de los glaciares y como consecuencias subsiguientes el nivel de las aguas aumenta y la superficie habitable se reduce a una velocidad creciente, además de otros fenómenos meteorológicos extremos.

Emisiones de Óxidos de Nitrógeno: Son las toneladas de óxidos de nitrógeno emitidos a la atmósfera durante un año por todas las centrales termoeléctricas en cada estado. A estas emisiones se les conoce comúnmente como “Noxes” ya que son varios especímenes de Nitrógeno los que se forman durante la combustión de fósiles y una vez que se encuentran en la atmósfera continúan reaccionando y formando diversos compuestos de Nitrógeno. Forman parte del smog fotoquímico con características tóxicas para los seres vivos y dañinos para muchos materiales de construcción y de monumentos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

La frontera norte de México es un territorio desigual y heterogéneo, su sector eléctrico también lo es, esta territorialidad se define por las características propias de la historia y desarrollo de cada entidad federativa y por la manera en que se integra con los estados del sur de EUA.

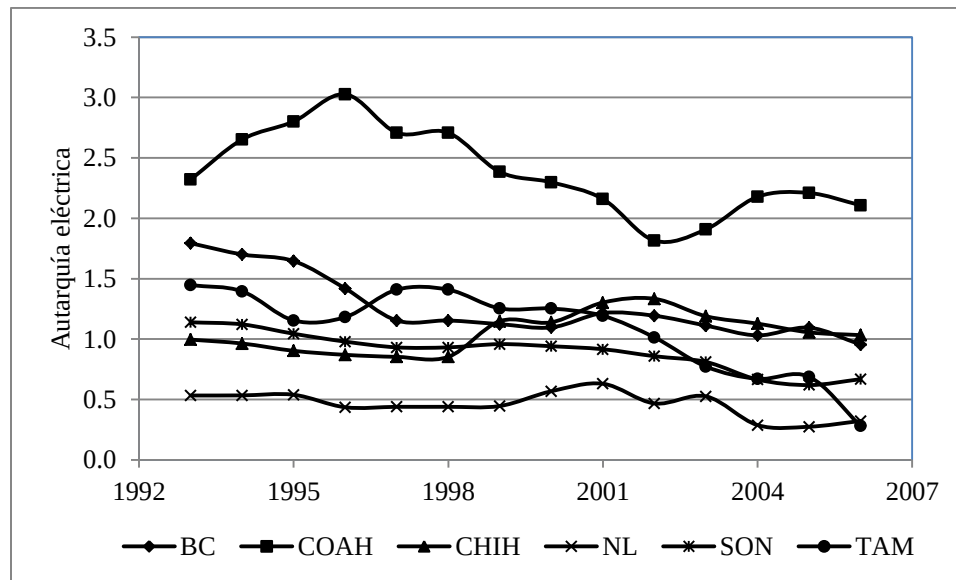
4.1 Comportamiento de los indicadores de sostenibilidad por dimensión del desarrollo en la frontera Norte.

Los resultados que se presentan en esta sección, son los indicadores en Comportamiento durante el periodo 1993-2006, sin normalización, lo que permite ver algunos detalles que se

pierden con este procedimiento. Los resultados graficados se presentan por indicador para cada una de las entidades federativas y una con el promedio correspondiente a la frontera, las observaciones se comentan en el momento del análisis de cada Estado, o de cada indicador o dimensión.

4.1.1 Dimensión económica:

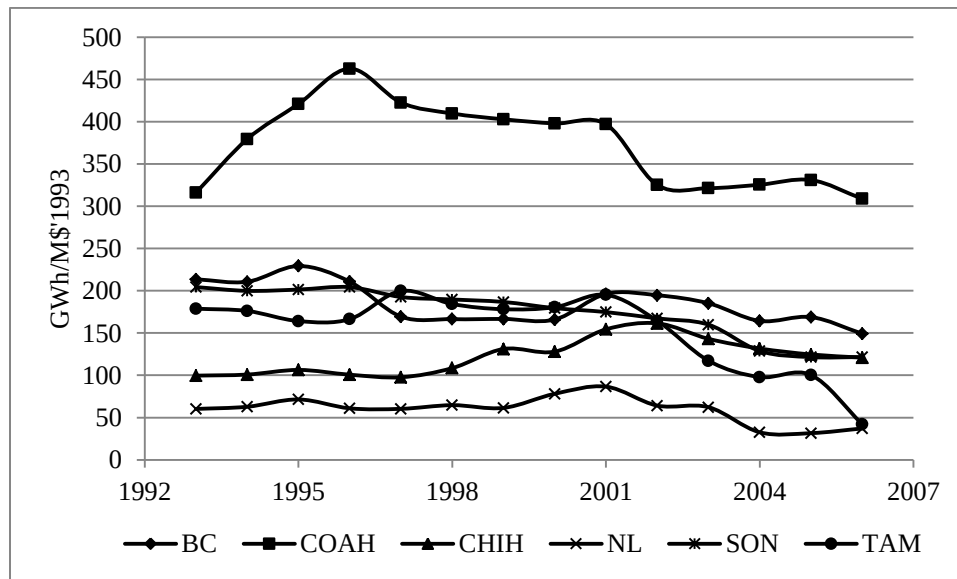
Los indicadores para la dimensión económica son autarquía (AE), robustez (RE) e intensidad eléctricas (IE). La autarquía tuvo para toda la región un valor promedio en el periodo de 1.18, un mínimo promedio de 0.77, y un máximo promedio de 1.56. El promedio al inicio del periodo fue de 1.37 y al final de 0.85, con lo que se observa una disminución de la autarquía en los estados de la frontera norte de México de 1993 a 2006. El estado con mayor valor en autarquía fue Coahuila con un promedio en el periodo de 2.36, un máximo de 3.02 y un mínimo de 1.81, en 1993 tuvo 2.32 y en 2006 el valor fue de 2.11, en general sufrió una caída, aunque tuvo fluctuaciones a lo largo del periodo. Baja California, Chihuahua, Sonora y Tamaulipas presentaron promedios de alrededor de 1, Nuevo León promedió 0.46, con un máximo de sólo 0.63, por abajo del valor promedio de toda la región estudiada, mostrando con ello que realiza importaciones por más de la mitad de su demanda eléctrica. Los resultados de la autarquía en el resto de los estados mostraron un comportamiento aceptable en lo general para la frontera Norte (Gráfica 4. 1).



Gráfica 4. 1. Comportamiento de la autarquía eléctrica en la frontera Norte de México.

La intensidad eléctrica se presenta en la Gráfica 4. 2, obtuvo un promedio regional en el periodo analizado de 178 GWh/MMXN\$ y valores mínimo promedio de 130 GWh/MMXN\$ y máximo promedio de 201 GWh/MMXN\$. El promedio para la frontera Norte en 1993 fue de 179 GWh/MMXN\$ y en 2006 de 130 GWh/MMXN\$, lo que implica una disminución de la IE para la región. Por otro lado, en 1993 el estado con valor más alto fue Coahuila con 316 GWh/MMXN\$, mientras que Nuevo León tuvo el valor promedio menor con 60 GWh/MMXN\$; en 2006 los estados con mayor y menor intensidad eléctrica fueron Coahuila y Nuevo León respectivamente con 309 GWh/MMXN\$ y 37 GWh/MMXN\$., con lo que se aprecia una disminución de la IE de estos estado. Esta posición de Coahuila puede explicarse por su carácter de gran productor de carbón y electricidad, Nuevo León en cambio es un gran consumidor por ser la entidad federativa de mayor industrialización y generadora de riqueza en la región estudiada. Sonora con un valor promedio en el periodo estudiado de 174 GWh/MMXN\$, debe su valor mayor a que

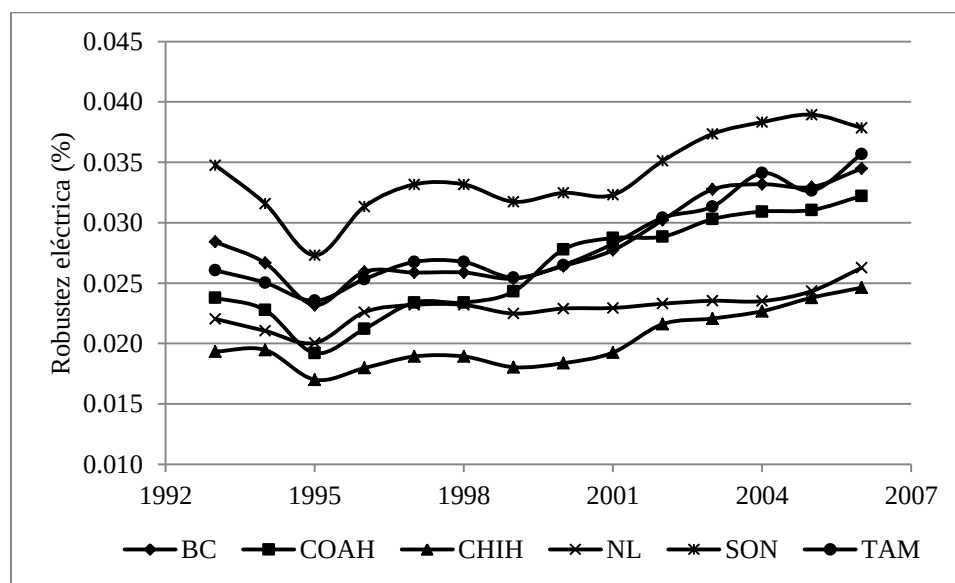
es un estado cuya actividad económica principal es el sector servicios y a que gran parte del consumo de electricidad se lleva en la climatización de viviendas y edificios durante gran parte del año, principalmente en la temporada de verano en las regiones de altas temperaturas, y en menor medida durante el invierno con el uso de calefacción.



Gráfica 4. 2. Comportamiento de la intensidad eléctrica en la frontera Norte de México.

La frontera Norte tuvo un promedio en todo el periodo de 0.0264 % en el indicador robustez eléctrica, su valor máximo fue de 0.0319 % y su mínimo de 0.0264 %. En el periodo analizado, Sonora es el estado con mayor robustez, siendo el de mayor aportación de producto eléctrico al producto interno bruto estatal, en promedio tuvo 0.0389 %, un valor inicial de 0.0348 % y valor final de 0.0379 %. Baja California ocupa el segundo lugar en robustez eléctrica con un promedio de 0.0285 % un mínimo de 0.0232 % y un máximo de 0.0345 %. Tamaulipas y Coahuila tienen valores intermedios, con una robustez promedio de 0.0266 % y 0.0263 %. Al inicio del periodo valor mínimo fue de 0.0193 %

para Chihuahua y el mayor de 0.034 % para Sonora. En 2006 el valor mínimo lo tuvo Chihuahua con 0.0246 %, el máximo de 0.0379 % lo tuvo Sonora y Nuevo León tuvo una robustez de 0.0267 %, con lo que ocupa el penúltimo lugar en relación a las demás entidades federativas. Por otro lado, con el propósito de conocer las tendencias de crecimiento de la robustez se obtuvieron valores de la tasa de crecimiento promedio en el periodo (TCP). En la frontera Norte se tuvo una $TCP_{93-06} = 258 \%$, mientras que Tamaulipas y Sonora tuvieron los valores más altos de la TCP_{93-06} con 20, 072% y 14.78% respectivamente (Gráfica 4.3).



Gráfica 4. 3. Comportamiento de la robustez eléctrica en la frontera Norte de México.

La integración del sector eléctrico de la frontera mexicana con Estados Unidos se presenta en mayor medida a través del Estado de Baja California, debido principalmente a las exportaciones (22,511.29 GWh) y en menor medida a las importaciones (1,209.46 GWh) con el estado de California (EUA). Sonora ocupa el segundo lugar en integración a través

principalmente de las importaciones de energía eléctrica, con una demanda de energía de 2,175.41 GWh. Las exportaciones e importaciones que aquí reportamos son las realizadas por los Productores Externos de Energía (PEE). Las importaciones son realizadas por Baja California, Coahuila y Sonora pero con un valor mucho menor que las exportaciones, en total estas tres entidades acumularon en 2007, 1,596.618 GWh, mientras que el acumulado de las exportaciones de la región en 2007 fue de 26,567.29 GWh, lo que da como resultado un balance comercial eléctrico negativo y de gran magnitud (Cuadro 4.1).

Tabla 4.1. Balance comercial eléctrico de los PEE en la frontera norte de México (1992-2006).

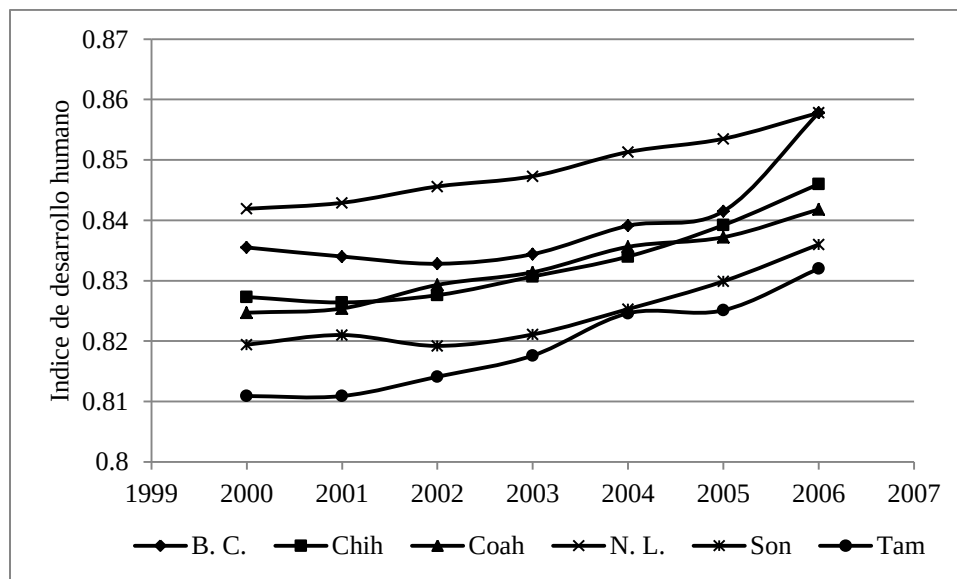
Estado	Importaciones (GWh)	Exportaciones (GWh)	Balance comercial eléctrico
Baja California	1,209.46	44,192.58	-42,983.12
Coahuila	932.75	----	
Sonora	2,175.41	4,056.00	-1,880.59
Total	4,317.62	48,248.58	-43,930.96
<i>Fuente: Comisión Reguladora de Energía.</i>			

Con base en los resultados anteriores, se establece que la sostenibilidad en la dimensión económica es de buena (RbE, IE) a regular (AE), asimismo las exportaciones rebasan en mucho a las importaciones, por lo que existe un gran desequilibrio en este rubro económico.

4.1.2 Dimensión social:

La dimensión social se basa en tres indicadores, uno para el desarrollo social básico, que es el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y tres para el sector eléctrico. El IDH fue seleccionado porque tiene relación con la satisfacción de necesidades sociales básicas,

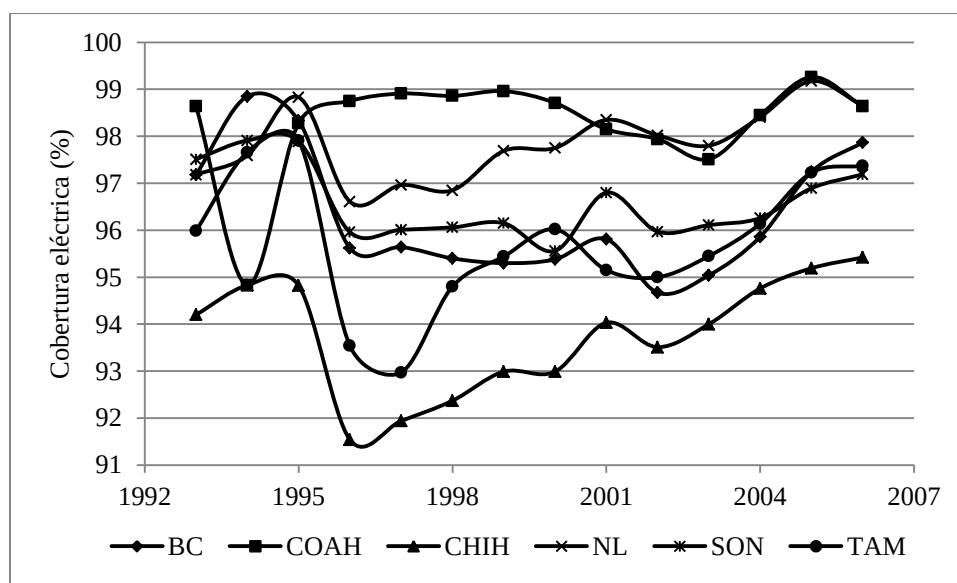
como son la salud, la educación y el ingreso por habitante, de las cuales su calidad depende del suministro de energía eléctrica. El Comportamiento del IDH fue positivo a través del periodo reportado, los valores anduvieron aproximadamente entre 0.81 y 0.86. Nuevo León y Baja California tienen los valores mayores en todos los años, alrededor de 0.84 en 2000 y en 2006 alcanzan casi 0.86. Sonora con 0.82 y Tamaulipas con 0.81 al inicio del periodo se ubican como los estados con menores valores en IDH, al final del periodo mostraron una mejoría con valores de 0.84 y 0.83 respectivamente pero se mantuvieron rezagados de los demás estados; sin embargo, todas las entidades del norte tuvieron valores mayores que el nacional el cual creció de 0.79 a 0.81 en el mismo periodo. En el 2006, el valor promedio de la frontera norte fue de 0.85, mayor al 0.81 del nacional y ubicado en el nivel alto, según la clasificación del PNUD, en la cual arriba de 0.8 se encuentran los mencionados niveles. El IDH mostró una Tasa de Crecimiento Promedio (TCP) positiva en todos los años de 0.37% y una tasa de crecimiento (TC) en el 2005 de 0.9% (Gráfica 4. 4).



Gráfica 4. 4. Comportamiento del índice de desarrollo humano en la frontera Norte de México.

La cobertura eléctrica (CbE), tuvo un comportamiento más errático que los indicadores sociales anteriores como se puede apreciar en la Gráfica 4. 5, aunque a partir de 2003 mostró una tendencia a un crecimiento homogéneo tanto en cada uno de los estados como comparados entre sí. El conjunto de estados a través de todo el periodo mostró un valor promedio de 96.42%, un valor máximo de 97.68% y un mínimo de 95.34%. Su TCP93-05 = 0.06%. El estado de Chihuahua presenta los niveles menores con un valor promedio en el periodo estudiado de 93.76% y una TCP93-05 = 0.24%; de 1993 a 1995 tuvo crecimiento, sin embargo tuvo una disminución en 1996 (91.54 %), de lo cual se repuso lentamente y al final consiguió su punto más alto (95.42 %), aunque no sobrepasa en mucho el 94.82 % de 1995, esta disminución pudo deberse a un alto crecimiento de su población, debido a su vez, a la incorporación de las maquiladoras a las actividades económicas de Chihuahua, como lo mencionan Sanjuan y Vega la Tasa de Crecimiento Anual (TCA) para el personal

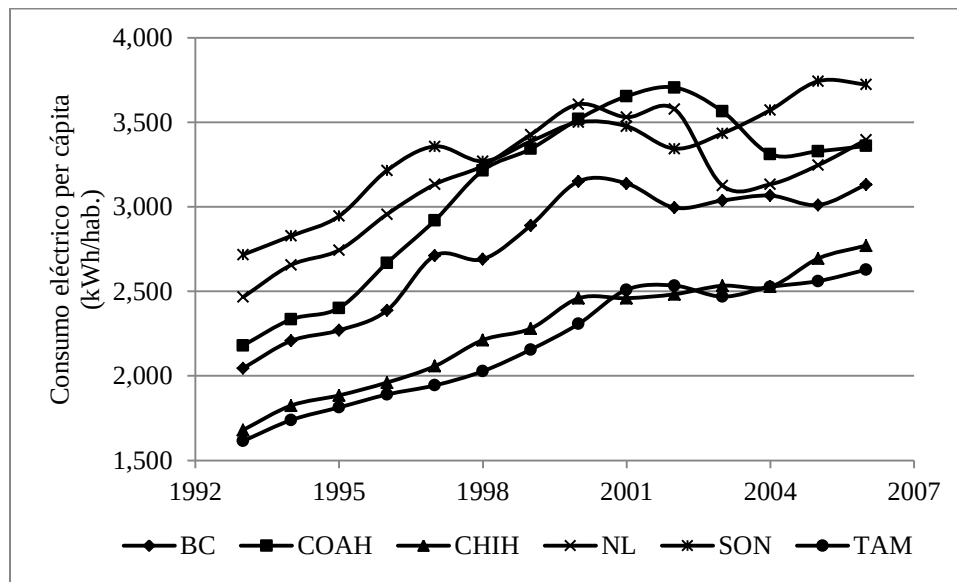
ocupado de Obreros de -4.46% en 1991 a 11.57% en 1995, generando un total de 162,887 obreros en el periodo de 1990-1995, para finalmente crecer en 12.28% para el año 2000 (Sanjuan y Vega, 2004, pág. 16). Por otro lado, Nuevo León tuvo el valor más alto al final del periodo con el 98.65% de cobertura eléctrica. Los valores de los estados de la frontera norte de México, se encuentran en niveles comparables con los países desarrollados, que llegan a ser de 99.5% (SENER, 2009).



Gráfica 4. 5. Comportamiento de la cobertura eléctrica en la frontera Norte de México.

El consumo eléctrico por habitante (CE/habitante) se mide en kWh por habitante. En la frontera norte el promedio en el periodo de 1993 a 2006 fue de 2,187.12 kWh/hab (Gráfica 6), se tuvo un máximo promedio de 3,742.95 kWh/hab, un mínimo promedio de 2,717.41 kWh/hab, una tasa de crecimiento promedio de 1993 a 2006 (TCP_{93-05}) de 3.32% y una tasa de crecimiento en 2005 (TC_{05}) de 2.42%. Tamaulipas es el estado que tiene un CE/capita menor ya que en 1993 tuvieron un consumo de 1,615.53 kWh/hab; alcanzando en 2006 los

2,627.99 kWh/hab. El estado con mayor nivel de consumo por habitante en casi todo el periodo es Sonora con un mínimo de 2,717.41 kWh/hab, y un máximo de 3,742.95 kWh/hab, excepto de 2000 a 2003, en los cuales Coahuila ocupó el primer lugar. Sonora tuvo una TCP_{93-05} de 2.51% y una TC_{05} de -0.51% y Coahuila una TCP_{93-05} de 3.51% y una $TC_{05} = 0.95\%$ (Gráfica 4. 6).

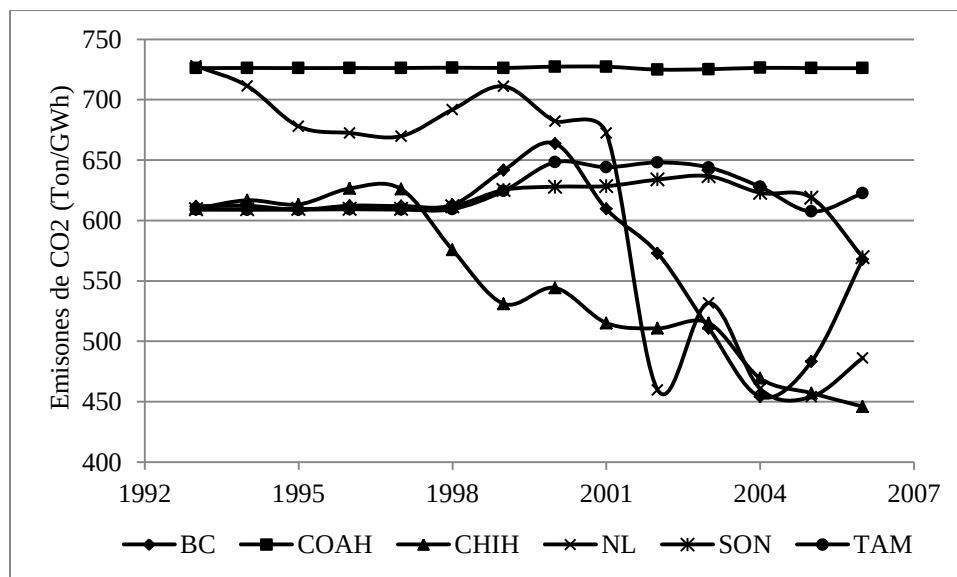


Gráfica 4. 6. Comportamiento del consumo eléctrico por persona en la frontera Norte de México.

4.1.3 Dimensión ambiental

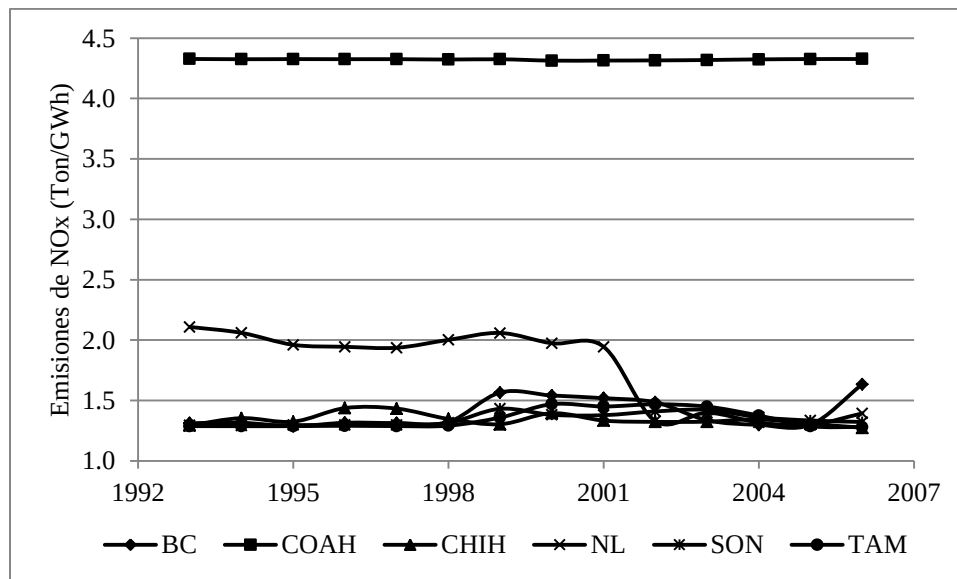
Los indicadores de la dimensión ambiental se refieren a emisiones de dióxido de Carbono (ECO_2) y óxidos de nitrógeno ($ENOX$) a la atmósfera y el uso de fuentes renovables ($URENOV$) en la producción de electricidad.

En Emisiones de CO₂, la frontera presenta un promedio anual de 612.06 Ton/GWh, un máximo promedio de 648.96 Ton/GWh y un mínimo promedio de 557.79 Ton/GWh. Nuevo León de 2003 a 2006, obtuvo una evidente disminución. Baja California llevaba un tendencia creciente hasta 2000; sin embargo, a partir de 2001 disminuye notoriamente. Por su parte, Tamaulipas y Coahuila mantuvieron sus niveles de 1993 a 2006, esta última, se distingue, además por ser la de mayores Emisiones de CO₂, con un valor promedio máximo en el periodo de 726.25 Ton/GWh, un mínimo de 724.93 Ton/GWh y un máximo de 727.37 Ton/GWh. Estos niveles tan elevados se deben a la utilización del carbón mineral en las grandes centrales ubicadas en este estado, que aportan el 6% del total de la electricidad al país (Gráfica 4. 7).



Gráfica 4. 7. Comportamiento de las Emisiones de CO₂ por generación eléctrica en la frontera Norte de México.

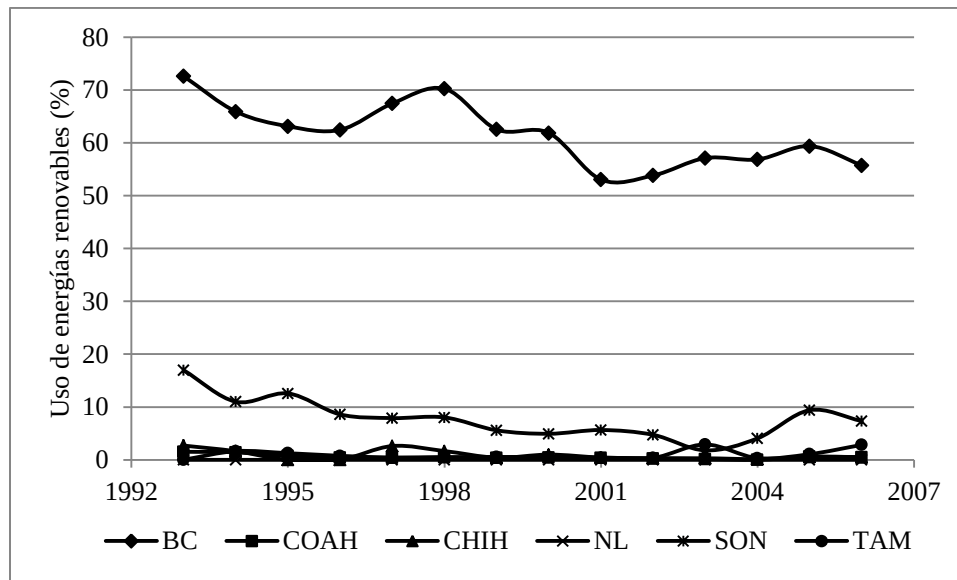
En las Emisiones de NO_x se observa durante el periodo en la frontera (Gráfica 4. 8) un promedio por año de 1.9 Ton/GWh de NO_x, un mínimo promedio de 1.72 Ton/GWh y un máximo promedio de 1.9 Ton/GWh. Baja California tuvo los valores promedio más bajos de la frontera en este indicador con un promedio de 1.28 Ton/GWh de NO_x, un mínimo 0.002 Ton/GWh seguido por Sonora y Tamaulipas con un promedio 1.29 Ton/GWh. Coahuila es el estado con los valores mayores con un promedio de 4.32 Ton/GWh. Chihuahua con un valor inicial de 1.29 Ton/GWh y 1.28 Ton/GWh al final; Nuevo León también disminuyó su contribución en estas emisiones con 2.1 Ton/GWh en 1993 a 1.4 Ton/GWh Ton en 2006.



Gráfica 4. 8. Comportamiento de las Emisiones de NO_x por generación eléctrica en la frontera norte de México.

Otro de los indicadores ambientales es el uso de energías renovables en la generación eléctrica (UERN), en toda la frontera se tiene un promedio de 11.86% de participación de

dichas energías (Gráfica 4. 9). El valor mínimo promedio es cero y el máximo es de 62%. El caso más crítico es Nuevo León, ya que no existe uso de renovables en todo el periodo estudiado. Baja California por otro lado por la utilización de energía geotérmica en Cerro Prieto, es el estado más destacado ya que tiene el promedio más alto de 62%, con un mínimo de 53% (año) y un máximo de 73% (año), estos valores máximos los tuvo en 1993, pero fue decreciendo en el transcurso del periodo llegando a 2006 con el 56% de generación renovable. Sonora tiene el segundo lugar en este tipo de generación (debido a plantas hidroeléctricas); no obstante, se encuentra muy lejos de Baja California ya que su promedio en el periodo estuvo en el 6.7%, con un mínimo de 0.02% en 1993 y un máximo de 12.6% en 1995. Les siguen Tamaulipas, Chihuahua y Coahuila con promedios de 1.1%, 0.9% y 0.6%, respectivamente. Baja California, Coahuila y Chihuahua, en términos generales muestran un descenso en la participación de las energías renovables; mientras que Sonora y Tamaulipas presentan un incremento. Baja California muestra menos fluctuaciones en el periodo, debido a la disponibilidad continua de la energía geotérmica, distinto de la energía hidráulica que depende de los ciclos de lluvia. La dimensión ambiental es de sostenibilidad baja, ya que tiene poca contribución al uso de renovables (excepto Baja California) y elevadas emisiones a la atmósfera (sobre todo Coahuila).



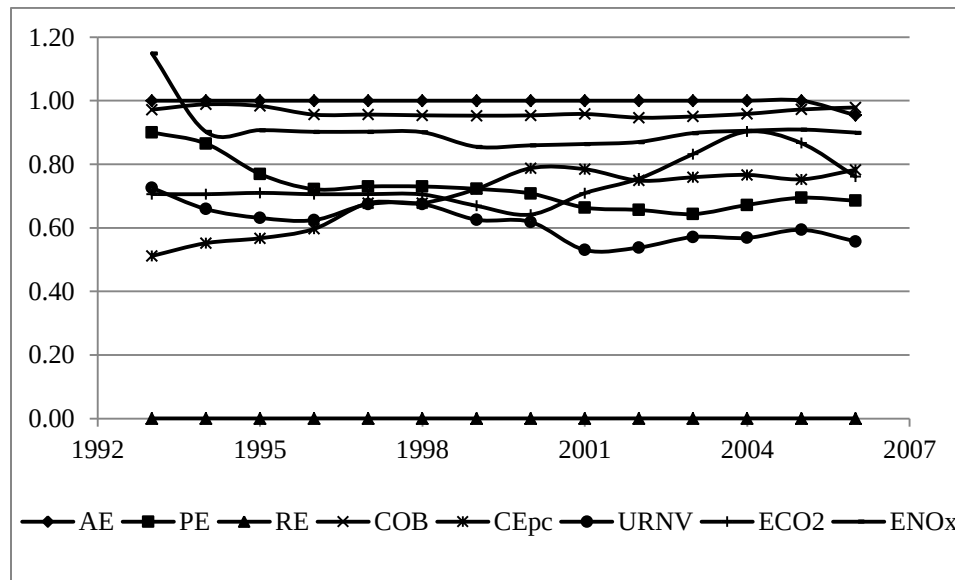
Gráfica 4. 9. Comportamiento de la generación eléctrica con energías renovables en la frontera Norte de México.

Es conveniente resaltar algunos aspectos del desarrollo de la sostenibilidad del sector eléctrico en el Estado de Nuevo León, ya que es considerado como ejemplo nacional en generación de riqueza y bienestar a través de su planta industrial, con todo y que ésta se concentra en un 90% en la ciudad de Monterrey. Se encontró que el IDH tuvo el nivel alto en todo el periodo, muy cerca de los demás estados, mientras que la cobertura eléctrica tuvo el porcentaje más alto de 2001 a 2006, pero el consumo eléctrico por habitante fue de los más bajos en todo el periodo, también podemos decir que existe una baja generación de electricidad en un estado que se caracteriza por un gran consumo de esta energía por la industria local.

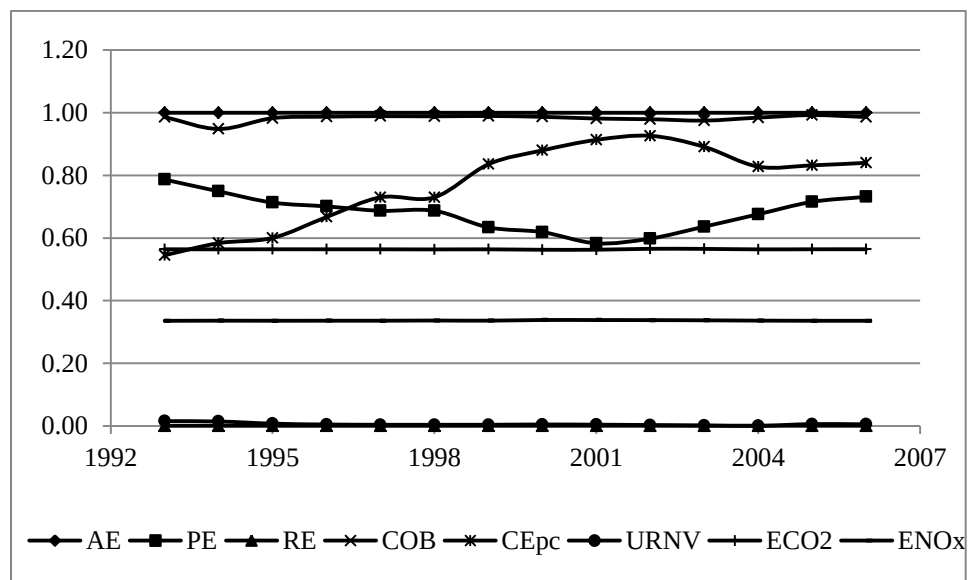
4.2 Comportamiento o de los indicadores de sostenibilidad por entidad federativa de la frontera Norte de México.

El comportamiento de los indicadores energéticos en Baja California (Gráfica 4. 10) mostró un comportamiento relativamente constante en todo el periodo; sin embargo, sus valores variaron en toda la escala. La AE se mantuvo en 1 de 1993 a 2005, en 2006 bajó a 0.95; la PE tuvo un promedio de 0.73, un mínimo de 0.64 y un máximo de 0.90; La RE fue constante en el valor de cero. La CE presentó valores en promedio de 0.99, con un mínimo de 0.95, mientras que el CEpc varió de 0.51 a 0.79 con un promedio de 0.68, es importante resaltar que en 2005 y 2006 tuvo una disminución. El URNV tuvo un promedio de 0.62, con un mínimo 0.53 y un máximo de 0.73; las ECO₂ cambiaron su valor de un mínimo de 0.64 a un máximo de 0.74 con un promedio de 0.64, por su parte las ENOX tuvieron un promedio de 0.89, con mínimo de 0.86 y máximo de 0.96.

En Coahuila (Gráfica 4. 11) el indicador de la dimensión social, CEpc mostró un gran crecimiento desde 1993 (0.55) hasta 2003 (0.89), en los tres últimos años bajó a 0.84 en 2006, siendo 0.77 su valor promedio en todo el periodo. La dimensión ambiental es de muy baja sostenibilidad, por un lado, el URNV es prácticamente nulo en todos los años estudiados, las emisiones de CO₂ obtuvieron un valor promedio de 0.56 y de 0.34 en NOx.



Gráfica 4. 10. Comportamiento de indicadores energéticos en Baja California

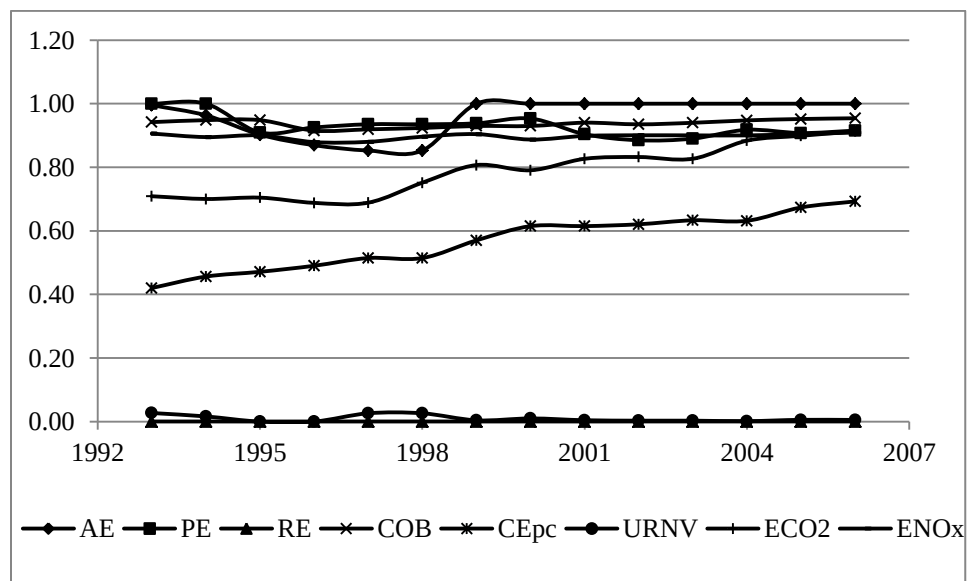


Gráfica 4. 11. Comportamiento de indicadores energéticos en Coahuila.

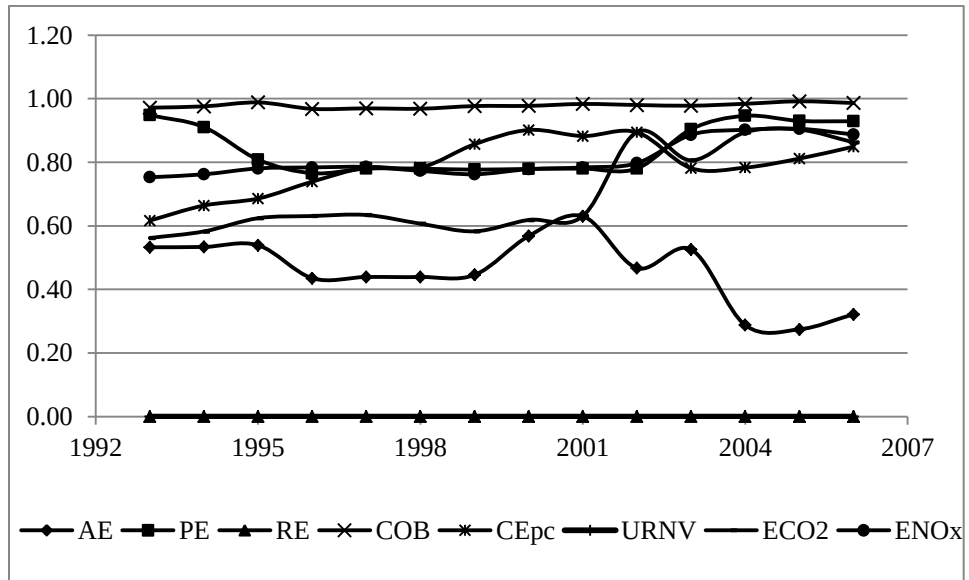
En Chihuahua (Gráfica 4. 12) el CEpc, también tuvo un gran crecimiento de 0.42 en 1993 llegó a 0.69 en 2006 y su promedio fue de 0.56. El uso de renovables obtuvo un promedio

de 0.01 en todo el periodo estudiado; sin embargo, las emisiones presentan buenos niveles con promedios de 0.708 y 0.9 para las de CO₂ y de NO_x, respectivamente.

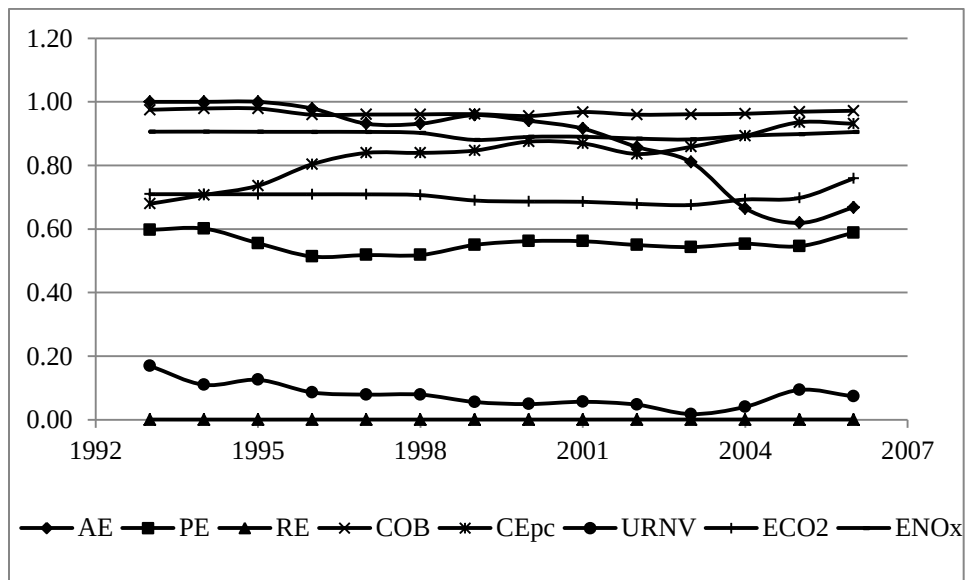
Nuevo León (Gráfica 4. 13), se diferencia de los otros estados en sus bajos valores de autarquía, al presentar un promedio de 0.47, un mínimo de 0.27 y un máximo de 0.63. Su aportación en la generación eléctrica con energías renovables fue de cero en todo el periodo estudiado. Los indicadores de la dimensión social presentaron muy buenos niveles, con promedio en cobertura eléctrica en promedio de 0.98 y de 0.79 en CEpc.



Gráfica 4. 12. Comportamiento de indicadores energéticos en Chihuahua.



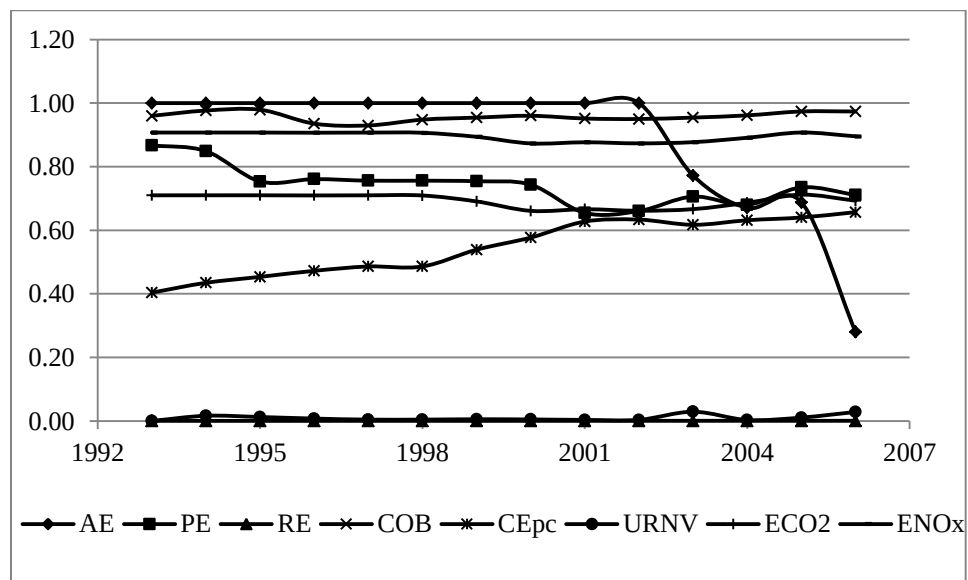
Gráfica 4. 13. Comportamiento de indicadores energéticos en Nuevo León.



Gráfica 4. 14. Comportamiento de indicadores energéticos en Sonora.

En Sonora se distingue un elevado Consumo Eléctrico per cápita, y con crecimiento constante, con un valor promedio de 0.82 en el periodo estudiado y que inicia en 1993 con 0.68, que es el mínimo valor. Su contribución al uso de fuentes renovables es muy baja, en promedio este indicador es de 0.08. Una disminución en la Autarquía que va de 1, en 1993 a 0.67, en 2006, con promedio en el periodo de 0.89, el mínimo en 2005 de 0.62 (Gráfica 4. 14).

Tamaulipas muestra algo que lo distingue en los estados de la frontera norte de México, la autarquía que se había mantenido estable de 1993 (1) a 2002 (1), empieza a decrecer a partir de 2003 (0.77); sin embargo, de 2005 a 2006 tiene una caída de 0.69 a 0.28, lo que significa una tasa de crecimiento de casi -60%. El CEpc tiene un promedio de 0.54, mínimo de 0.40 y máximo de 0.66, valores más bajos que las demás entidades federativas del norte de México (Gráfica 4. 15).



Gráfica 4. 15. Comportamiento de indicadores energéticos en Tamaulipas.

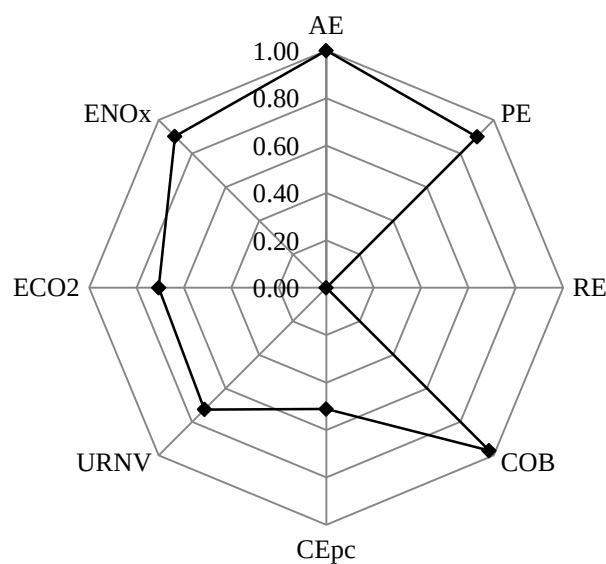
En general, las dimensiones presentan un comportamiento casi constante en todo el periodo estudiado. En la frontera norte la dimensión económica (ejemplo, autarquía y productividad) mostró un decrecimiento en la sostenibilidad, contrario de la dimensión social (como en el consumo eléctrico por habitante), que mostró un aumento de la sostenibilidad al final de periodo estudiado. La tendencia creciente del consumo eléctrico por cápita en la frontera norte de México es posible debido a la alta cobertura eléctrica, que permite a la vez satisfacer la demanda generada por la necesidad de climatización de viviendas y edificios. Debido a su baja aportación, el uso de fuentes renovables de energía es un indicador que debilita la dimensión ambiental en la frontera norte, sin embargo, por el lado de ECO_2 y de NO_x , se presentó una reducción relativa en sus valores, principalmente de los óxidos de Nitrógeno, debido a una importante introducción de plantas de ciclo combinado a base de gas natural.

4.3 Radogramas de sostenibilidad energética por entidad federativa en la frontera norte de México.

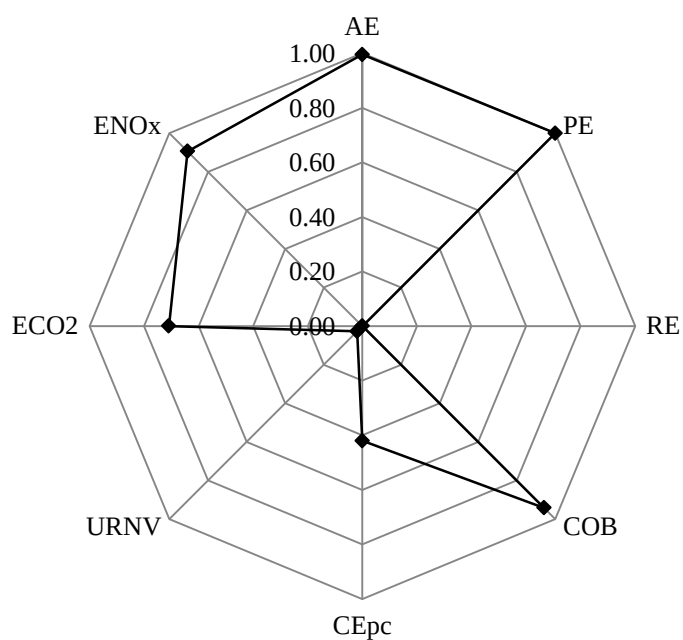
Los radogramas son gráficas radiales, donde se presenta el conjunto de indicadores elaborados en este estudio, y como se menciona en el apartado de la metodología, esto permite observar el balance existente entre las dimensiones del desarrollo, así como los valores de cada uno de los Indicadores de Sostenibilidad Energética. Además se puede hacer una comparación del desarrollo de la industria eléctrica en los estados de la frontera norte de México. Las características a observar en estas gráficas son la forma, tamaño y

posición de una respecto a otra y/u otras, de tal manera que bajo esta perspectiva es posible hacer una clasificación. En este escrito se presentan las gráficas de los años 1993, 2000 y 2006.

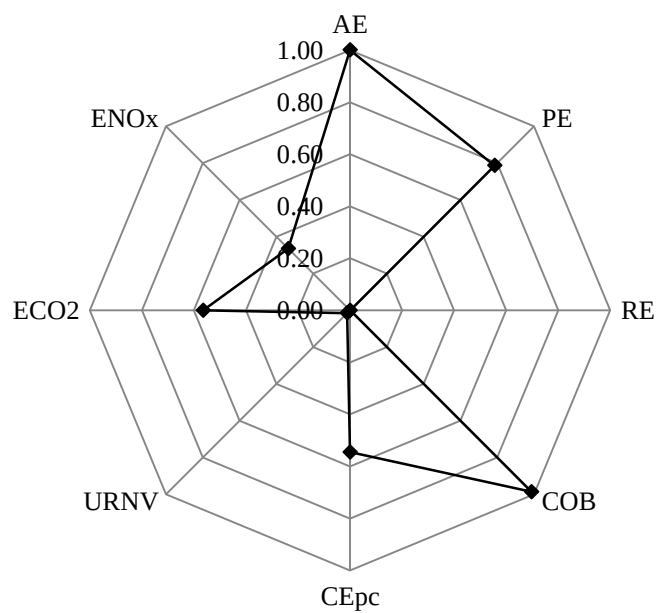
En **1993** (Gráficas 4. 17 – 4. 22), cuanto a forma, tamaño y posición Baja California, Chihuahua, Sonora y Tamaulipas tienen mayores similitudes entre sí; Baja California se distingue en una mayor aportación en el Uso de Fuentes Renovables de Energía, debido a la central geotérmica Cerro Prieto, ubicada en el municipio de Mexicali. En Sonora existen tres centrales hidroeléctricas; pero las prolongadas sequías y la política de despacho de CFE, tornan difícil la continuidad en su aportación. La dimensión económica sólo presentó problemas en la robustez; la dimensión social mostró niveles cercanos al cien por ciento en la cobertura eléctrica mientras el consumo eléctrico per cápita es de casi 0.5 (Gráficas 4. 16- 4. 22).



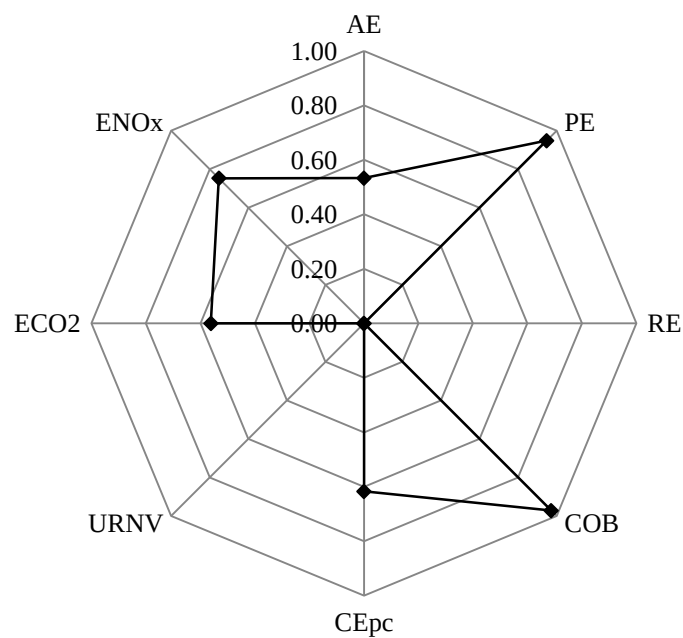
Gráfica 4. 16. Radograma de sostenibilidad energética de Baja California 1993.



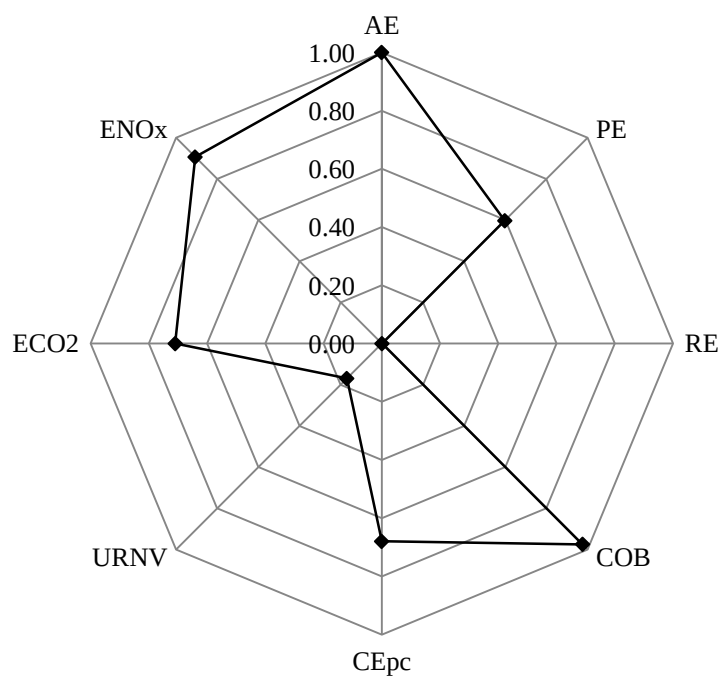
Gráfica 4. 17. Radograma de sostenibilidad energética de Chihuahua 1993.



Gráfica 4. 18. Radograma de sostenibilidad energética de Coahuila 1993.



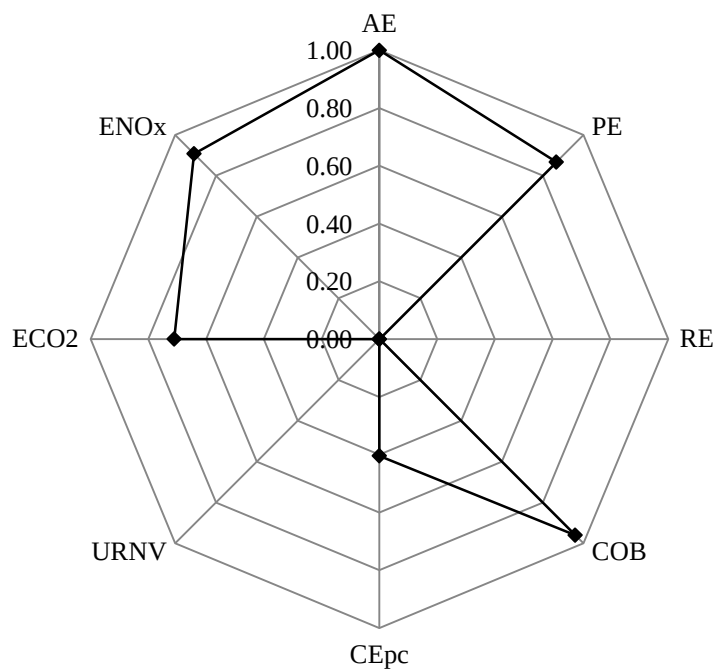
Gráfica. 4. 19. Radograma de sostenibilidad energética de Nuevo León 1993.



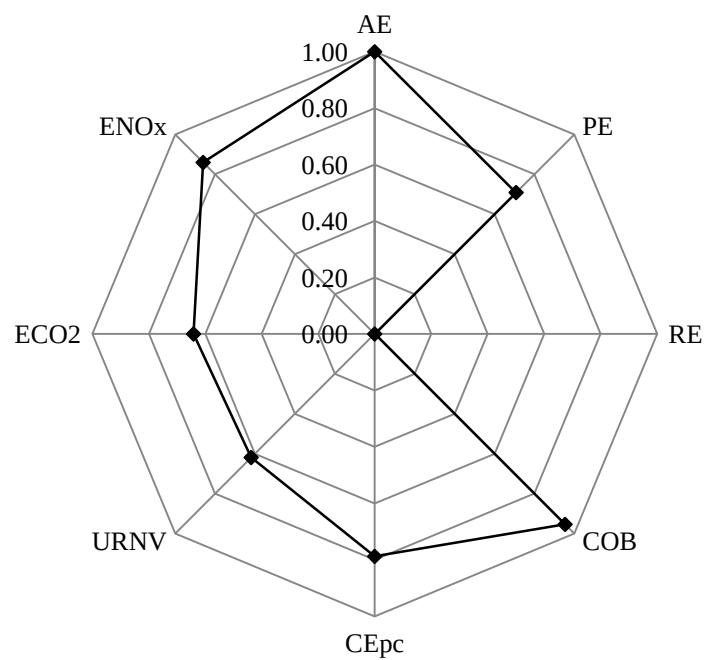
Gráfica 4. 20. Radograma de sostenibilidad energética de Sonora 1993.

Nuevo León ha sido considerado el estado de mayor desarrollo económico e industrial, tanto en la frontera norte como en México; sin embargo, en 1993 presentó problemas muy serios en todas las dimensiones, la autarquía mostró que no satisface su demanda, el uso de fuentes renovables fue nulo, y sus niveles de emisiones no presentaron grandes diferencias con las otras entidades federativas aun y cuando su producción es menor a éstas. Coahuila es un gran generador de electricidad con centrales térmicas a base de carbón, situación que vulnera la dimensión ambiental debido a las emisiones de gases a la atmósfera, además existe el problema del bajo uso de energías renovables.

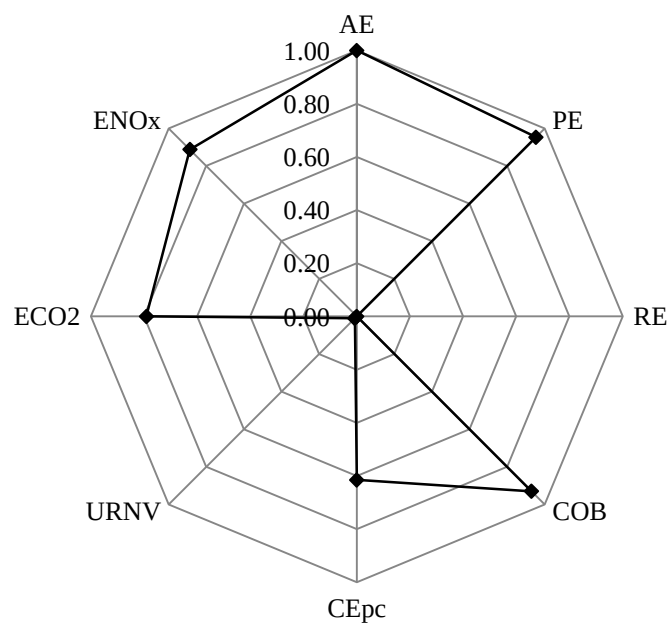
En **2000** (Gráfica 4. 23 y 4. 28), Baja California, Chihuahua, Sonora y Tamaulipas tienen radogramas similares, Baja California con mejores niveles en las dimensiones ambiental y social. Nuevo León alcanza casi la unidad en los indicadores de la dimensión social; sin embargo, presenta niveles intermedios en el resto de las dimensiones. En Coahuila la dimensión social es de casi la unidad, pero la dimensión ambiental presenta serios problemas debido a que sus valores van de 0 a 0.5.



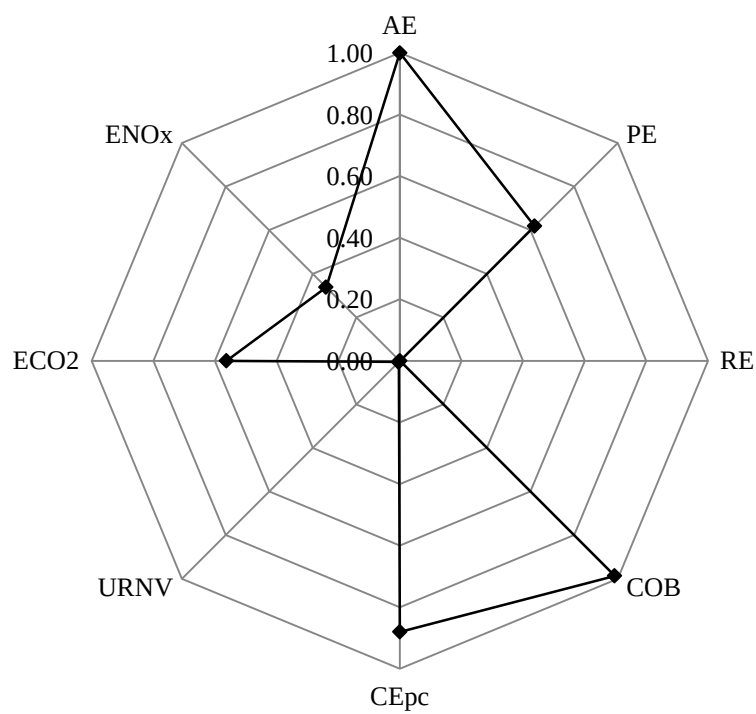
Gráfica 4. 21. Radograma de sostenibilidad energética de Tamaulipas 1993.



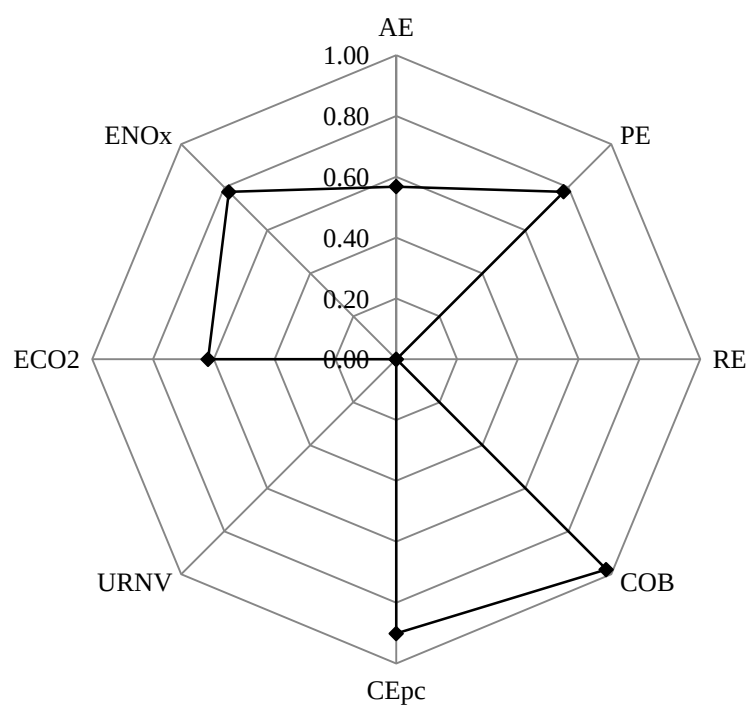
Gráfica 4. 22. Radograma de sostenibilidad energética de Baja California 2000.



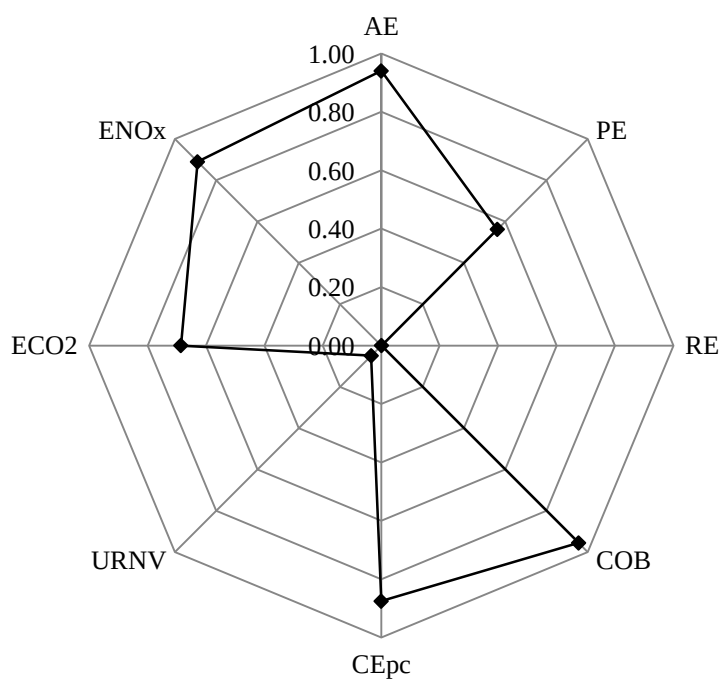
Gráfica 4. 23. Radograma de sostenibilidad energética de Chihuahua 2000.



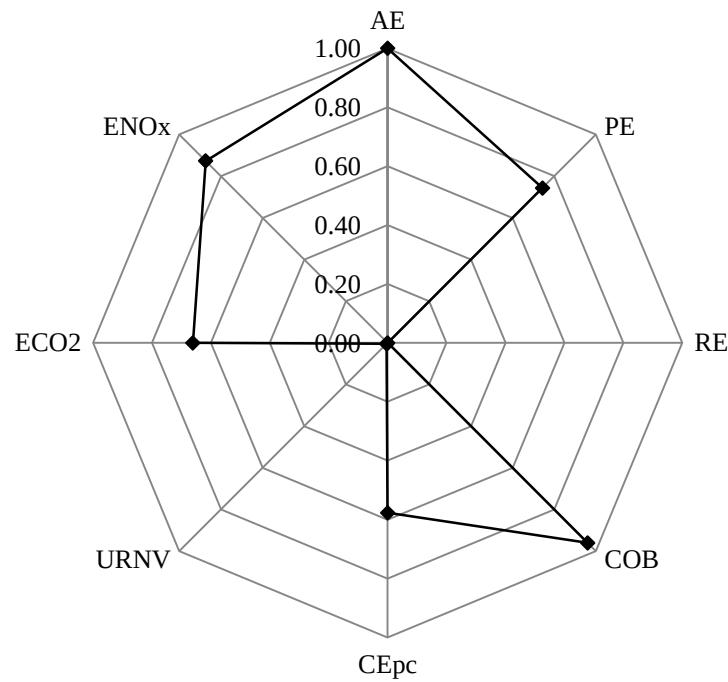
Gráfica 4. 24. Radograma de sostenibilidad energética de Coahuila 2000.



Gráfica 4. 25. Radograma de sostenibilidad energética de Nuevo León 2000.

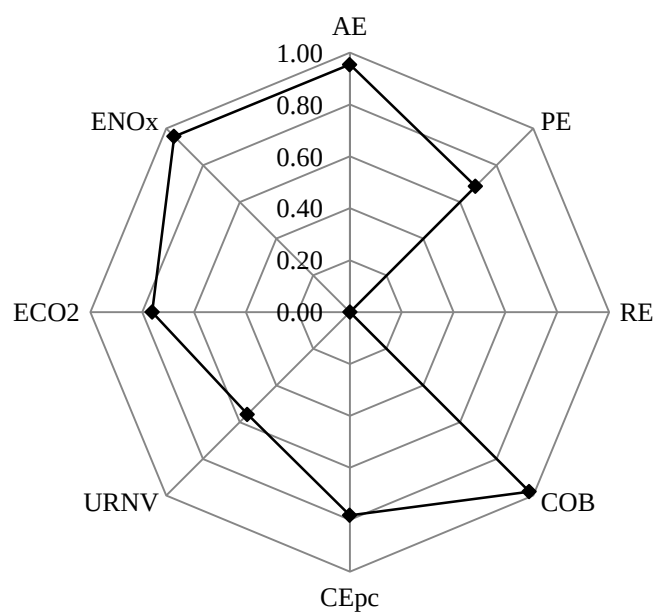


Gráfica 4. 26. Radograma de sostenibilidad energética de Sonora 2000.

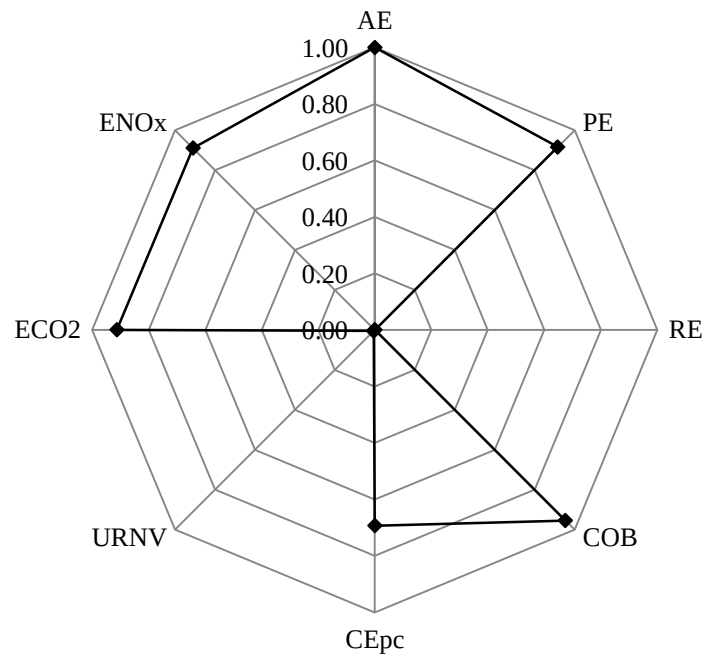


Gráfica 4. 27. Radograma de sostenibilidad energética de Tamaulipas 2000.

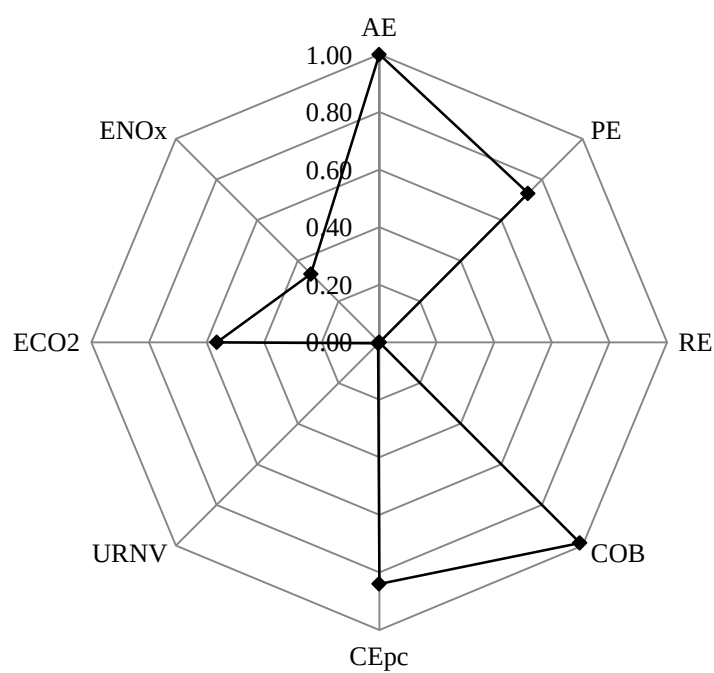
En 2006 (Gráfica 4. 29 y 4. 34), observamos una clasificación diferente de 1993 y 2000, Sonora y Chihuahua son los de mayor área de sostenibilidad, con valores menores en el uso de fuentes renovables y en la robustez. Baja California baja su aportación en el uso de fuentes renovables. Tamaulipas y Nuevo León son las de menor área de sostenibilidad, muy baja autarquía (menor a 0.4) y nula generación eléctrica con fuentes energéticas renovables; sin embargo, es importante destacar que los indicadores de la dimensión social tienen niveles muy cercanos a la unidad.



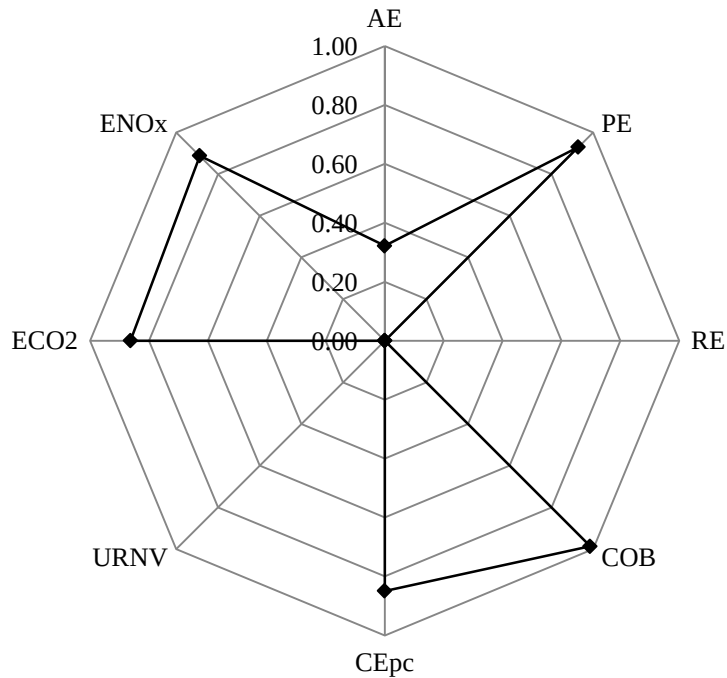
Gráfica 4. 28. Radograma de sostenibilidad energética de Baja California 2006.



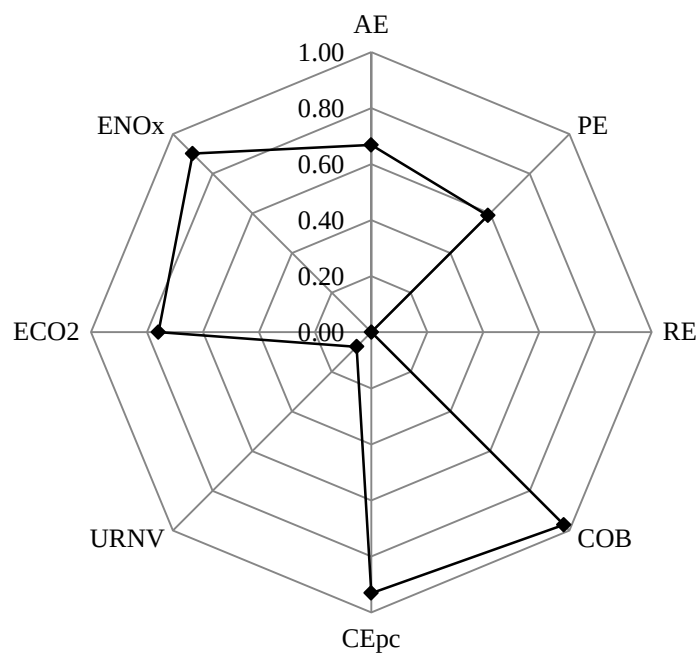
Gráfica 4. 29. Radograma de sostenibilidad energética de Chihuahua 2006.



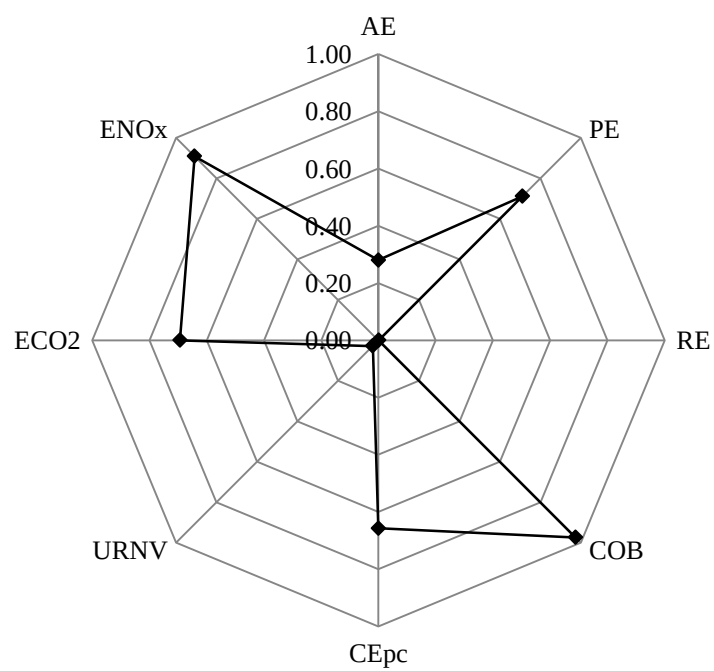
Gráfica 4. 30. Radograma de sostenibilidad energética de Coahuila 2006.



Gráfica 4. 31. Radograma de sostenibilidad energética de Nuevo León 2006.



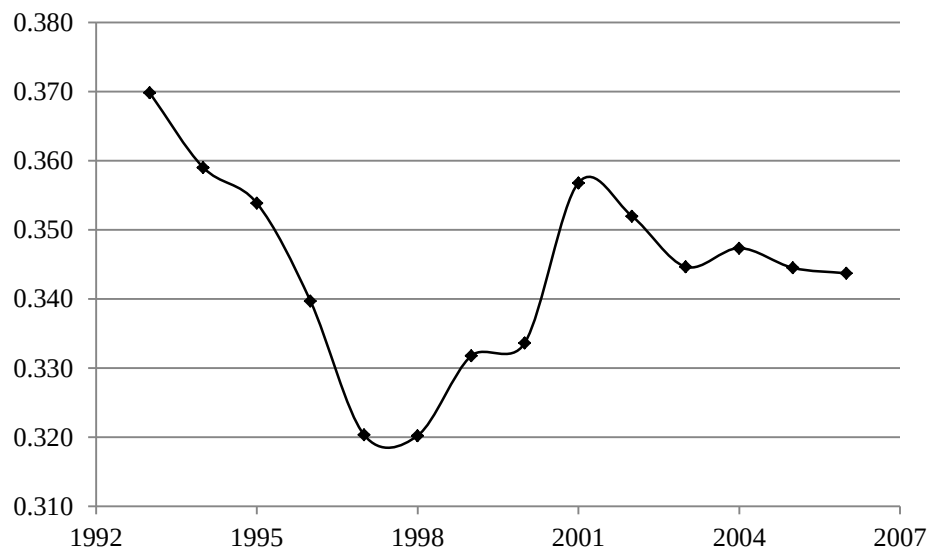
Gráfica 4. 32. Radograma de sostenibilidad energética de Sonora 2006.



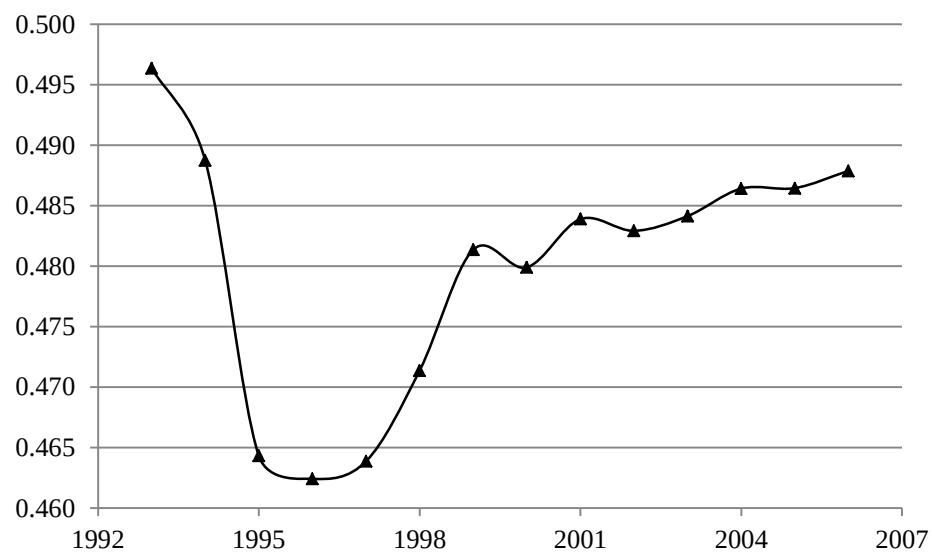
Gráfica 4. 33. Radograma de sostenibilidad energética de Tamaulipas 2006.

4.4 Comportamiento de los indicadores compuestos energéticos por entidad federativa de la frontera norte de México.

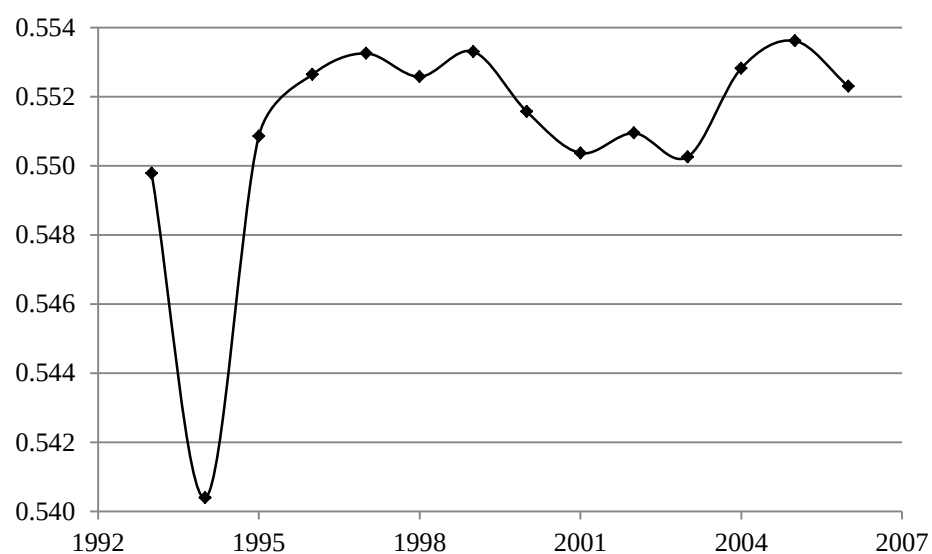
En cuanto al indicador compuesto energético (ICE) en la frontera norte, se tiene un promedio de 0.482, un máximo de 0.638 y un mínimo de 0.315. En Baja California los valores para el promedio, máximo y mínimo son de 0.342, 0.370 y 0.315, siendo los valores más bajos de todas las entidades federativas norteadas, mientras que Nuevo León reporta los valores más altos del promedio (0.546), máximo (0.638) y mínimo (0.479). En 2006 los valores más elevados son para Nuevo León (0.620) y el menor le corresponde a Baja California (Gráficas 4. 34 – 4. 40).



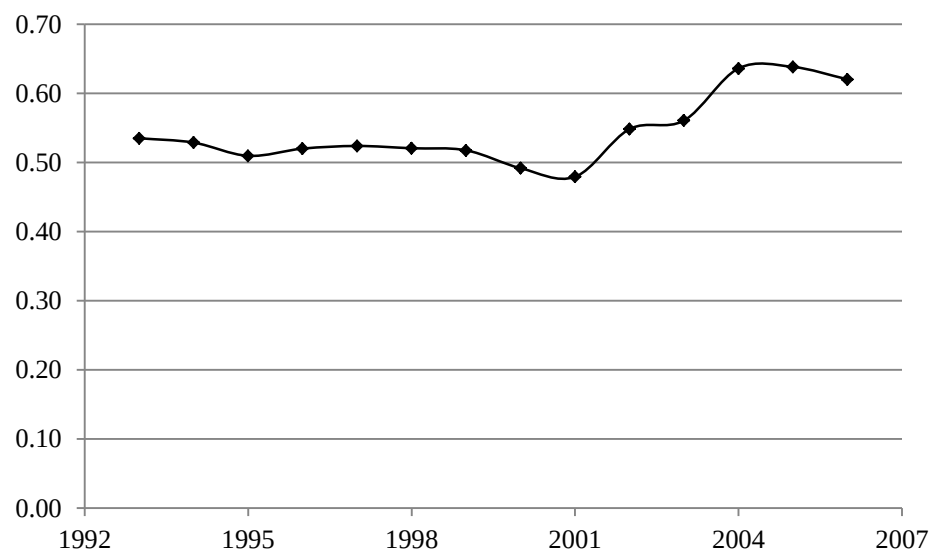
Gráfica 4. 34. Comportamiento del Indicador Compuesto Energético de Baja California.



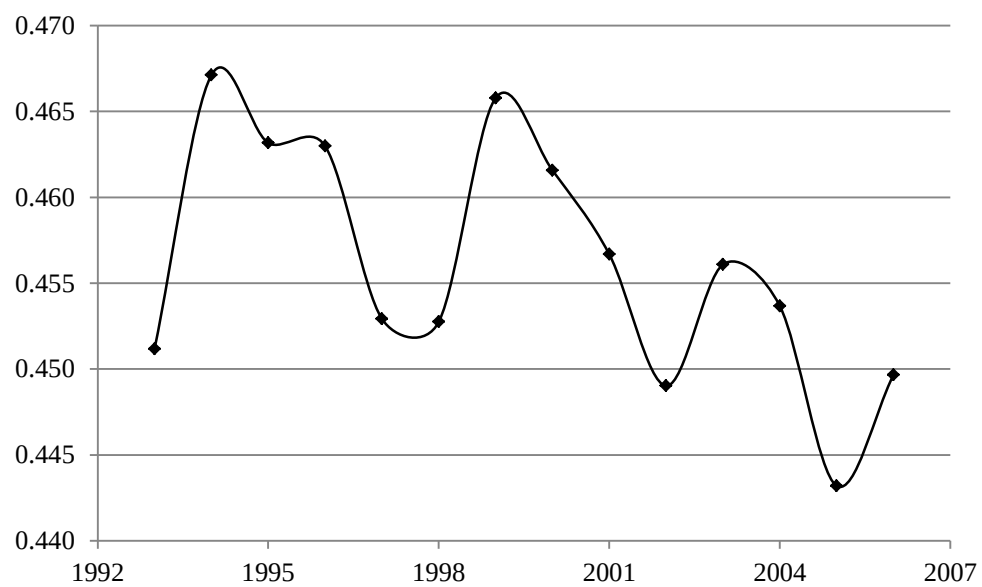
Gráfica 4. 35. Comportamiento del Indicador Compuesto Energético de Chihuahua.



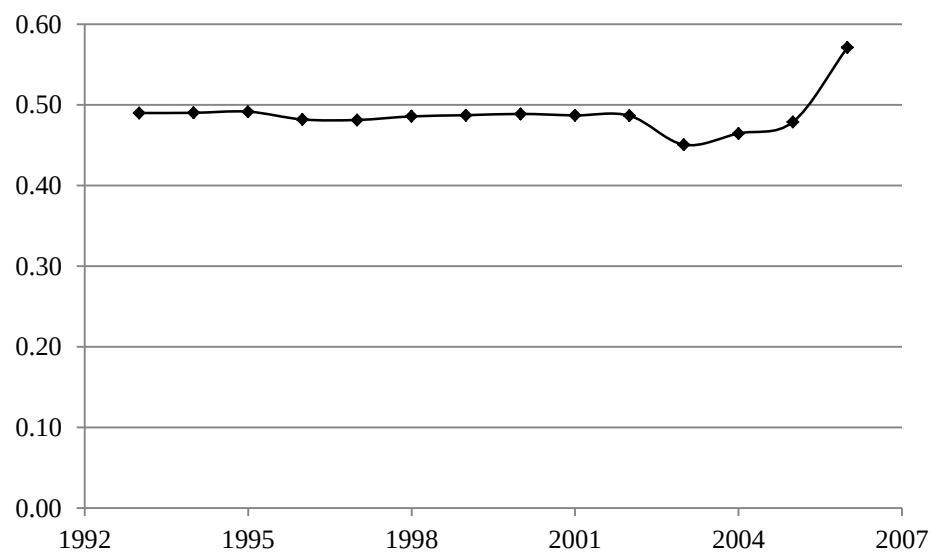
Gráfica 4. 36. Comportamiento del Indicador Compuesto Energético de Coahuila.



Gráfica 4. 37. Comportamiento del Indicador Compuesto Energético de Nuevo León.



Gráfica 4. 38. Comportamiento del Indicador Compuesto Energético de Sonora.



Gráfica 4. 39. Comportamiento del Indicador Compuesto Energético de Tamaulipas.

Capítulo V

CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de series de tiempo, se obtiene una visión de la frontera norte como una región caracterizada por rasgos comunes a lo largo de su territorio, así como especificidades de cada uno de los estados. En el caso de la dimensión social se encuentra, que en todos los estados y a través del periodo analizado, ésta se ubica en los rangos de buena a alta sostenibilidad de acuerdo al comportamiento de los indicadores de dicha dimensión, destacando la cobertura eléctrica por tener valores muy cercanos a la unidad en todo el periodo estudiado y todos los estados, el consumo eléctrico por habitante presenta una situación de nivel de sostenibilidad intermedia, cuatro estados con valores mayores a los tres mil kWh por habitante y dos un poco mayor de los dos mil quinientos kWh por habitante. Es importante destacar el CEpc (ventas/habitantes); incorpora la distribución eléctrica al sistema eléctrico nacional, por lo que sus ventas o consumo se ven afectados por esta situación,

en especial los grandes productores como Coahuila y en menor medida Chihuahua y Baja California.

La dimensión ambiental es la de menor sostenibilidad en toda la región debido a que en la mayoría de los estados el uso de las fuentes renovables de energía es mínimo, con excepción de Baja California. Nuevo León es el caso de menor sostenibilidad ambiental, ya que no existe generación con renovables en todo el periodo analizado, además de colocarse entre el segundo y tercer lugar en producción de emisiones de óxidos de nitrógeno y de dióxido de carbono, a pesar de tener uno de los valores más bajos de energía producida. Chihuahua es otra paradoja, ya que es el estado donde se instaló la primera central hidroeléctrica en el país, mientras que este tipo de generación eléctrica cada vez es menor en esta entidad.

Tamaulipas es el representante por excelencia de la influencia de los productores independientes de energía en el sector eléctrico en la frontera norte de México, la caída dramática de la Autarquía, de 2005 a 2006, de 0.69 a 0.28, da cuenta de ello. Si se desglosan los componentes de este indicador se aprecia con más claridad esta drástica disminución, la producción de Comisión Federal de Electricidad pasó de 5, 347.3 GWh a 2, 263.7 GWh), mientras que sus ventas aumentaron de 7, 774 GWh a 8, 084 GWh.

Tal como se sugiere en la Agenda 21 de la Declaración de Río, si se incorporan en conjunto aspectos sociales, económicos y ambientales del desarrollo en la evaluación de la sostenibilidad, se elimina la parcialidad obtenida de retomar sólo uno de los aspectos mencionados obteniendo una evaluación de conjunto, amplia y más apegada a la realidad. La

OLADE, por su parte, propone un conjunto de indicadores a los que se les aplica una normalización. En este caso, la normalización de indicadores energéticos, permitió definir estándares de sostenibilidad, hacer comparaciones entre distintas dimensiones y medir el progreso hacia el desarrollo sostenible. La elaboración de gráficas radiales permitió evaluar las dimensiones en su conjunto en un tiempo determinado. Además permitió la construcción de un indicador global de sostenibilidad energética para la industria eléctrica. Con las gráficas de series de tiempo se pudo observar la tendencia del comportamiento de los indicadores de sostenibilidad en un periodo de tiempo determinado.

Por otro lado, es necesario el impulso de políticas energéticas que tiendan a equilibrar los niveles de sostenibilidad de las dimensiones estudiadas, principalmente en la promoción del uso de las fuentes primarias de energía renovables, en este territorio existe un gran potencial en energía solar y eólica en la subregión que está constituida por los estados de Baja California, Sonora (Desierto de Altar), Chihuahua y Coahuila (Desierto de Samalayuca, el más extenso de México) por estar en la franja mundial de mayor radiación solar con un promedio de entre 5 y 6 kWh/m²/día (NREL, 2008) y tener asimismo un gran potencial de viento en el territorio de la Sierra Madre Occidental, de la costa del Golfo de México y del Océano Atlántico. Con esto se tendría beneficio múltiple, ya que se tendría autoabastecimiento en energía eléctrica en cada uno de estos estados y con recursos energéticos renovables y propios.

Además, es necesario crear e implantar formas de participación ciudadana por fuera del espectro del gobierno federal en relación a las políticas de desarrollo de la industria eléctrica. El Estado Mexicano, sus instituciones y su sociedad deben pensar y proveer elementos de

integración a la globalización con una visión de futuro para superar el subdesarrollo e integrarse al mundo de la mejor manera posible sin poner en riesgo los progresos realizados a lo largo de su historia. La industria eléctrica puede jugar un papel estratégico como en otros tiempos de desarrollo de la economía mexicana.

La frontera entre México y Estados Unidos es una de las más largas, más conflictivas y más impresionantes del mundo. En sus 3326 kilómetros, de San Diego-Tijuana a Brownsville-Matamoros, la cruzan cada día unos 5000 trabajadores mexicanos, en situación regular o en la clandestinidad. Esta frontera separa y une a Estados Unidos con el conjunto de América Latina, y es a ella a la que tratan de llegar los huérfanos que vagan en las calles de las grandes ciudades. El Río Bravo encarna también la frontera quizás más espectacular entre una gran potencia económica y un continente emergente (Vázquez, 2007).

Y, tal como se afirma en el Plan Indicativo de la Conferencia de Gobernadores Fronterizos de 2009, es prioritario:

“reducir la brecha en la calidad de vida, no sólo entre los dos lados de la frontera sino entre las comunidades en ambos lados; respetar el sistema de sustento de vida de la región a través de un consumo de agua y energía eficiente, mientras se conserva la biodiversidad y la calidad del medio ambiente de la región; y contribuir a abatir el calentamiento global son objetivos deseables” (Border governors conference, 2009).

El término “sostenibilidad” se puede definir como la capacidad de cualquier sistema o proceso de mantenerse indefinidamente. En este contexto, el “Desarrollo Sostenible”

consiste en un esquema de desarrollo humano, social y económico que sea capaz de mantenerse de manera indefinida en armonía con los sistemas biofísicos del planeta (Hak, Moldan y Lyon Dahl, 2007)

La sostenibilidad del desarrollo no sólo es posible, sino necesario y tratándose de la energía, pilar fundamental de éste podemos lograr un gran impulso en dicha dirección sin aplicamos lineamientos de política energética para dar balance y crecimiento a las dimensiones del desarrollo energético de la frontera norte de México y a su vez al del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

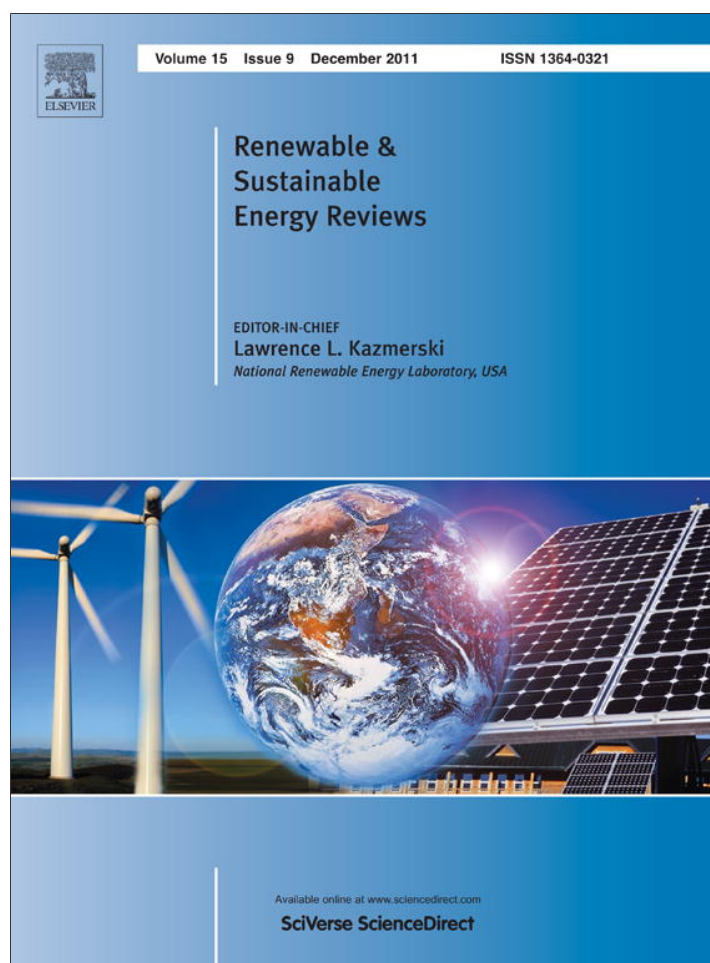
1. Comisión Reguladora de Energía, “Permisos y Resoluciones”.
<http://www.cre.gob.mx/registro/index.html> [consultation date: 2002–2007].
2. Viqueira J. “La industria eléctrica en el mundo: Otros modelos de organización y regulación del servicio eléctrico”. En El sector eléctrico de México, Coordinador Daniel Reséndiz Nuñez. México: Comisión Federal de Electricidad, Fondo de Cultura Económica; 1994. p. 403–26.
3. Kelly G. Marco legal y regulación del servicio público de energía eléctrica en México. En El sector eléctrico de México, Coordinador Daniel Reséndiz Nuñez. México: Comisión Federal de Electricidad, Fondo de Cultura Económica; 1994. p. 43–68.
4. Rodríguez G. “Evolución de la industria eléctrica en México”. In: En El sector eléctrico de México, Coordinador Daniel Reséndiz Nuñez. México: Comisión Federal de Electricidad, Fondo de Cultura Económica; 1994. p. 15–42.
5. Vázquez M. El norte de México: heterogeneidad económica y formas de integración al sur de Estados Unidos.
6. Vázquez M. La región fronteriza del norte de México: Nuevo perfil y propuesta metodológica para su estudio. Paper, AMECIDER; 2007.

7. Hernández MC, Soto AC, Vázquez MA. Impacto subregional del TLCAN Sonora en el contexto de la frontera norte. *Frontera Norte* 2008;40(July–December):105–34.
8. Strategic guidelines for the competitive and sustainable development of the U.S.–Mexico transborder region. Border Governors conference, Monterrey, Mexico. [http://bordergovernors.org/en/pdf/Strategic Guidelines ENG.pdf](http://bordergovernors.org/en/pdf/Strategic%20Guidelines%20ENG.pdf); 2009.
9. Organización de Naciones Unidas. “Programa 21”. http://www.un.org/esa/dsd/agenda21spanish/res_agenda21_40.shtml; 1992 [consultation date: 20 de enero de 2009].
10. International Atomic Energy Agency. Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies. Austria: AIEA; 2005.
11. Vera I, Langlois L. Energy indicators for sustainable development. *Energy* 2007;32:875–82.
12. Patlitzianas K, Doukas H, Kagiannas A, Psarras J. Sustainable energy policy indicators: review and recommendations. *Renewable Energy* 2008;33: 966–73.
13. Schaeffer R, Szklo SA, Monteiro Cima F, Machado G. Indicators for sustainable energy development: Brazil’s case study. *Natural Resources Forum* 2005;29:284–97.
14. Olimpio Jr PA, Soares JB, de Oliveira RG, de Queiroz RP. Energy in Brazil: toward sustainable development? *Energy Policy* 2008;36:73–83.
15. Pérez D, López I, Berdellans I. Evaluation of energy policy in Cuba using ISED. *Natural Resources Forum* 2005;29:298–307.
16. Medina-Ross JA, Mata-Sandoval JC, López-Pérez R. Indicators for sustainable energy development in Mexico. *Natural Resources Forum* 2005;29:308–21.
17. Streimikiene D, Ciegis R, Grundey D. Energy indicators for sustainable development in Baltic States. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2007;11: 877–93.

18. OLADE, CEPAL, GTZ. Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: Enfoques para la política energética. Quito, Ecuador: OLADE; 1997.
19. Quiroga R. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. Serie Manuales, vol. 16. Santiago, Chile: OLADE; 2001.
20. Segnestam L, Winograd M, Farrow A. Desarrollo de indicadores: Lecciones aprendidas de América Central. Washington, D.C.: Informe del Proyecto CIATBM- PNUMA, BIRD-BM; 2000.
21. Kim S. Evaluation of negative environmental impacts of electricity generation: Neoclassical and institutional approaches. *Energy Policy* 2007;35:413–23.
22. Anderson KL. Reconciling the electricity industry with sustainable development: backcasting a strategic alternative. *Futures* 2001;33:607–23.
23. Karger CR, Wilfried H. Sustainability evaluation of decentralized electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13:583–93.
24. Albrecht K-F, Orlamünder D. Electricity consumption: the growth pattern as an ecological indicator. *Ecological Modelling* 2008;216:127–33.
25. Liddle B. Electricity intensity convergence in IEA/OECD countries: aggregate and sectoral analysis. *Energy Policy* 2009;37:1470–8.
26. Cancino-Solorzano Y, Villicaña-Ortiz E, Gutiérrez-Trashorras AJ, Xiberta-Bernat J. Electricity sector in Mexico: current status. Contribution of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009.
27. Navarro P. “Estudio comparativo de la sustentabilidad del sector eléctrico de México y del Estado de Sonora”. Tesis de maestría, DEPFI-UNAM; 2003.

-
28. Arizona Department of Commerce. “Arizona Workforce Informer”
<http://www.workforce.az.gov/?PAGEID=67&SUBID=143> (consultation date: October 2009).
 29. Comisión Federal de Electricidad. Estadísticas por Entidad Federativa 1993–2006. México, D.F.: CFE; 1993–2006.
 30. Comisión Federal de Electricidad. Informe de Operación 1993–2006. México, D.F.: CFE; 1993–2006.
 31. Comisión Federal de Electricidad. “Informe anual 2006”. <http://www.cfe.gob.mx/informe2006/archivos/034.html> [consultation date: October 2007].
 32. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. “Banco de información económica”. <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe> [consultation date: 2008].
 33. Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, A.C., Justificación para la selección de metodología para calcular las reducciones de dióxido de carbono de proyectos de eficiencia energética y energías renovables, líneas base de las tasas de emisiones de gases efecto invernadero. México, D.F.: ATPAE;2003.
 34. Jiménez C, Blanca. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. México, D.F.: LIMUSA; 2001.
 35. National Renewable Energy Laboratory. “Solar Resource Data”,
http://www.nrel.gov/rredc/solar_data.html [consultation date: September, 2009].
 36. Schuschny, Andrés. Soto, Humberto. *Guía metodológica, Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*, CEPAL, GTZ. Naciones Unidas, Santiago de Chile. 2009.

37. Sanjuan R, N. G., Vega A., E. M., La industria maquiladora de exportación en México: El caso de Chihuahua y Tamaulipas, 1990-2002, Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México, D. F., 2004.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

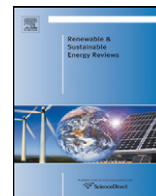
In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Comparative study of sustainability of the electrical power industry in Mexico and its northern border region

Patricia Navarro Alvarado^{a,*}, Jesus Fernando Hinojosa Palafox^a, Miguel Angel Vazquez Ruiz^b^a Department of Chemical Engineering, University of Sonora, Blvd. Rosales y Luis Encinas s/n Col. Centro, Hermosillo, Sonora, Codigo Postal 83000, Mexico^b Department of Economy, University of Sonora, Mexico

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 February 2011

Accepted 5 July 2011

Available online 15 September 2011

Keywords:

Electricity industry

Sustainable development

Energy sustainable indicators

ABSTRACT

The concept of sustainable development with three-dimensional formula was used to compare the sustainability of the electricity industry in Mexico and its northern border. Energy indicators for economic, social, and environmental dimensions were applied to the electricity industry between 1993 and 2006. According to the resulting indicators there was no balance between the dimensions. The environmental dimension yielded the least sustainable one, whereas the social dimension yielded the most sustainable indicator both in Mexico and in its northern border. The economic dimension presented greater differences in the indicators between Mexico and its northern border. The global indicator showed that sustainability in Mexico's northern border is higher than it is in Mexico. Energy policies must be applied to increase the sustainability of most indicators, to achieve a balance between the dimensions and to obtain progress toward sustainable development electrical power.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	4726
2. Methodology	4727
2.1. Economic dimension	4727
2.1.1. Electrical autarky (AK)	4727
2.1.2. Electrical robustness (ROB)	4728
2.1.3. Electrical productivity (PROD)	4728
2.2. Social dimension	4728
2.2.1. Electrical coverage (COB)	4728
2.2.2. Electrical consumption per capita (ECpc)	4728
2.3. Environmental dimension	4728
2.3.1. Use of renewable energies (URNV)	4728
2.3.2. Carbon dioxide emissions (CO ₂ E)	4728
2.3.3. NO _x emissions (NO _x E)	4728
3. Resulting indicators	4728
4. Conclusions	4730
References	4730

1. Introduction

In Mexico's history the electricity industry has been very important as an integral part of the country's development. The electricity industry underwent a long and difficult process of nationalization starting in 1928, with the Electrical National Code that declared the

electricity industry as a public utility. This difficult process continued with the creation of the Federal Commission of Electricity in August of 1937 and the ending of the policy of nationalization in 1960. In 1992, the Law of the Public Service of Electrical Energy (LPSEE) was modified due to a reinterpretation of the concept of electrical public service. Consequently the public electrical industry of Mexico has undergone changes as a result of the participation of independent producers of electricity (IPE) for over a decade, necessitating an analysis of the situation. However the northern border

* Corresponding author. Tel.: +52 662 2592105; fax: +52 662 2592106.

E-mail address: paty@iq.uson.mx (P. Navarro Alvarado).

states of Mexico, like its electrical sector, have had a very important role in Mexican history [1–7].

The U.S.–Mexico transborder region is the central piece of a binational system based on strong social, economic, and environmental connections. It is also the continental gateway for the emerging North American economic area encompassing Canada, Mexico and the United States. Extending for more than 3141 km, the U.S.–Mexico international boundary joins four U.S. and six Mexican states that together make up a territory of 2,678,569 km². The region is home to 83 million people, shelters the activity of hundreds of thousands of business, and is the setting for unique waterways and ecosystems. In both Mexico and the United States, border-state GDPs in 2006 were equivalent to approximately one-fourth of total national GDP (25% in Mexico, 23.7% in the United States). Combined border-state GDPs in 2006 were approximately US\$3.3 trillion. Only two nations in the world, Japan and the United States, exceed this amount. The combined border states' GDP is also greater than the GDPs of Germany, France, and the United Kingdom, and 25% greater than China's [8].

On the other hand, Chapter 40 of Program 21 (P21) of the 1992 Río Summit, has necessitated the worldwide establishment, promotion, and use of sustainable development indicators as basic tools for decision making at all levels [9]. Construction and implementation of sustainable development indicators have passed through several stages. Experts (i.e., statisticians, analysts, politicians, and university faculty in departments of energy and environment) from several agencies developed energy indicators for domestic use and monitored the effects of energy policies across economic, social, and environmental dimensions of sustainable development [10,11]. The Latin American Organization of Energy (OLADE), Economic Commission for Latin America (CEPAL), and German Development Cooperation (GTZ) formulated a set of indicators to evaluate the sustainable development of the energy sector in Latin America and the Caribbean [18,19]. Similarly, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), World Bank (WB), United Nations Environment Programme (NEP), and Interamerican Development Bank (IDB) developed indicators for Central America's energy sector [20]. These indicators have been applied by different geographical regions and countries to evaluate the impact of energy policies, including: Brazil, Cuba, Mexico and the Baltic States [12–17].

However, the sustainability of the electricity industry has experienced different approaches in the assessment of its economic, social and environmental impacts. Studies on such assessment methodologies, as developed by Kim [21], have focused on both theoretical and methodological backgrounds, critical reviews of specific studies, discussions of their results, and implications for future environmental policies and further research. Anderson [22] proposed that the backcast embrace wider environmental and social responsibilities through a more circumspect appreciation of the current knowledge and hence a more flexible and responsive policy agenda. Karger and Wilfried [23] investigated the advantages and disadvantages of decentralized electricity generation regarding the overall concept of sustainable development, and they agreed that technical and economic boundary conditions are of major importance in this field, though the security of the supply of electricity is still a matter of controversy. Regarding the application of sustainable indicators, Albrecht [24] proposed that economic systems may be considered as special ecosystems; being they serve as key indicators for energy in ecosystems because the most valuable kind of energy used in the economic systems of industrialized countries is electricity. A linear relationship between the growth pattern of electricity consumption and its relation to the gross domestic product has been found. The author's aim was to present this relationship and to initiate a discussion about its reason as well as its interpretation. Another study of energy indicators involved the

analysis of convergences in the electricity intensity in sample of International Energy Agency (IEA) countries. The results indicated that convergence varies by the type of electricity used, resulting in a grouping of countries [25]. Cancino [26] researched Mexico's electricity sector and its contribution to the use of renewable energy sources, while Navarro [27] made a comparative study of the sustainable development of Mexico's electricity industry in the State of Sonora.

This paper compares the sustainable development of the electricity industry in Mexico and in the states of the northern border of Mexico from 1993 to 2006, in the context of the Mexican law reforms in the electricity industry and the signature of the North American Free Trade Agreement (NAFTA). The border between Mexico and United States was selected because of the evident regional integration processes and their influences on the development of both countries [4–7]. Another purpose of this study was to analyze the electricity industry considering the economic, social and environmental dimensions of development, a theme supported by the concept of sustainable development generated since the 1992 Río Summit [9].

2. Methodology

For a quantitative evaluation of the sustainable development of the electricity industry in Mexico and in Mexico's northern border, indicators of energy sustainability were selected and adapted on the basis of the experience of international agencies that have worked in the construction of such indicators [10,18–27]. The data for the construction and normalization of the indicators were obtained from the CFE, Geography and Statistics National Institute (INEGI following the Spanish acronym), Energy Regulatory Commission (CRE, following the Spanish acronym) and Technical and Professional Association in Energy Applications (ATPAE, following the Spanish acronym) [29–33]. Three indicators were constructed along economic and environmental dimensions, as well as two indicators along the social dimension. They were applied to the electricity industry in Mexico and in its northern border. The indicators of the border were obtained by the average of the states' values of the northern border of Mexico.

Indicators were normalized to allow comparisons between the parameters and to determine a sustainability standard that would allow a quantitative assessment of sustainability of the electricity industry in Mexico and its northern border. The normalization criteria were based on the type of indicator. The resulting indicators were presented in radial graphics, which enables one to observe the three dimensions as a whole at a specific time (1993 and 2006). It also produced time-series graphs illustrating the evolution of these indicators over a period of time (1993–2006). A global indicator was also produced, as shown by the area of polygons in the radial graphics. The following are the definitions of the indicators and their respective normalization (Table 1).

2.1. Economic dimension

Self-sufficiency and power consumption, as well as the electrical industry's contribution to the generation of wealth from one region, comprise the indicators of the economic dimension.

2.1.1. Electrical autarky (AK)

Defined by a ratio of the electricity produced and consumed (electricity production/electricity consumption). Indicates self-sufficient, if is able to meet its own electricity generation. The normalization of the electrical autarky was linear: 0 = 0, 1 = 1.

Table 1
Indicators of sustainable energy development for the electricity industry.

Dimension	Indicator	Definition	Normalization
Economic	Electrical autarky	Electricity production/electricity consumption	0 = 0 1 = 1
	Electrical productivity	GDP/electricity consumption	1 ≥ 9331.32\$/kWh
Social	Electrical robustness	Electricity product/GDP	1 ≥ 49.46%
	Electricity coverage	Percentage of favored inhabitants	0 = 0% 1 = 100%
	Electricity consumption per capita	Electricity consumption/inhabitant	1 ≥ 4000 kWhpc
Environmental	Carbon dioxide emissions	kg of carbon dioxide emissions during power generation per annum	0 ≥ 1179.33 kg/MWh 1 ≤ 372.98 kg/MWh
	Nitrogen oxide emissions	kg of nitrogen oxides emissions during power generation per annum	0 ≥ 6.112 kg/MWh
	Use of renewable energies	Percentage of electricity generation with renewable primary sources	0 = 0% 1 = 50%

2.1.2. Electrical robustness (ROB)

Defined by the index obtained by comparing electricity production and the gross domestic product (electricity production/GDP). The average value of the states along the southern border of the U.S., corresponding to 9331.32 \$/kWh in 2006 [28], was used as a reference to normalize the electrical robustness.

2.1.3. Electrical productivity (PROD)

The ratio of the regional economic output and the consumption of power in a specific region (GDP per capita/electricity consumption). The average value of the states along the southern border of the U.S., corresponding to 49.55% in 2006 [28], was used as a reference to normalize the electrical productivity.

2.2. Social dimension

This dimension relates the electric sector's contribution to societal development, as analyzed by electricity coverage and per capita electricity consumption, thereby following the general population's access to services and the average per capita distribution.

2.2.1. Electrical coverage (COB)

The percentage of the inhabitants that have access to electricity and welfare by having this basic service, which is essential for a good quality of life. The normalization to electrical coverage was 0 = 0%; 1 = 100%.

2.2.2. Electrical consumption per capita (ECpc)

The ratio of total electricity consumption and the number of inhabitants, which provides an overview of the general distribution of power consumption without considering the economic differences of populations. The reference used to normalize the electrical consumption per capita (ECpc) was the UN recommendation of 4000 kWh per capita.

2.3. Environmental dimension

The environmental dimension provides insight into the impact on the atmosphere of power plants (≈70% of Mexico's total electrical production) due to the emissions of carbon dioxide (CO₂), major greenhouse gases, and nitrogen oxides (NO_x), one of the most toxic and reactive gases in the air and a part of the composition of photochemical smog [34].

The use renewable energy sources provides an overview of energy sources contributing to the diversification of primary energy

sources, and avoided emissions of gases from burning fossil fuels in electricity production.

2.3.1. Use of renewable energies (URNV)

The ratio of the total energy produced and the amount of energy produced using renewable energy (energy production/energy production using renewable energy). Provides information on the contribution of renewable energy sources to the total electrical energy produced. To normalize the use of renewable energies (URNV) the following criteria were used: [0 = 0%; 1 = 50%].

2.3.2. Carbon dioxide emissions (CO₂E)

The ratio of 1 kg of CO₂ emitted per 1 MWh of electricity generated by thermal facilities. The CO₂E were calculated by data of electricity generated, and by emission factors which were obtained from data of ATPAE. In 2002, researchers of ATPAE [33] calculated the atmospheric emissions of power plants of CFE, which enables one to obtain the emission factors by fuel thermoelectric technology. To normalize, the interval [372.98–1179.33 kg CO₂/MWh] was provided by the natural gas and coal technologies because they are currently the best (natural gas) and the worst (coal) fuel thermoelectric technologies.

2.3.3. NO_x emissions (NO_xE)

The ratio of 1 kg of NO_x emitted per 1 MWh of electricity generated by thermal facilities. To normalize NO_xE, the interval [0.795–6.112 kg NO_x/MWh] was provided by the natural gas and coal technologies because they are currently the best (natural gas) and worst fuel thermoelectric technologies (coal).

3. Resulting indicators

The results are presented in radial charts first to show the values of the indicators and the balance between the dimensions in specific time periods. Subsequently time series graphs are presented to portray trends in the evolution of the indicators.

The radial graphs allow one to evaluate, define and compare the different levels of sustainable development. When using radial graphs it is important to note the form, position and size of the resulting polygonal area, with the idea that sustainability is most optimal when the area covers the whole graph. In the case with Mexico (Fig. 1) and its northern border (Fig. 2) the graph does not show a balance between the dimensions in any of the years evaluated, as the values are higher in 2006 than in 1993 in both cases. The size and position associated with Mexico's northern border (MNB) show better levels of sustainability than the country as a whole.

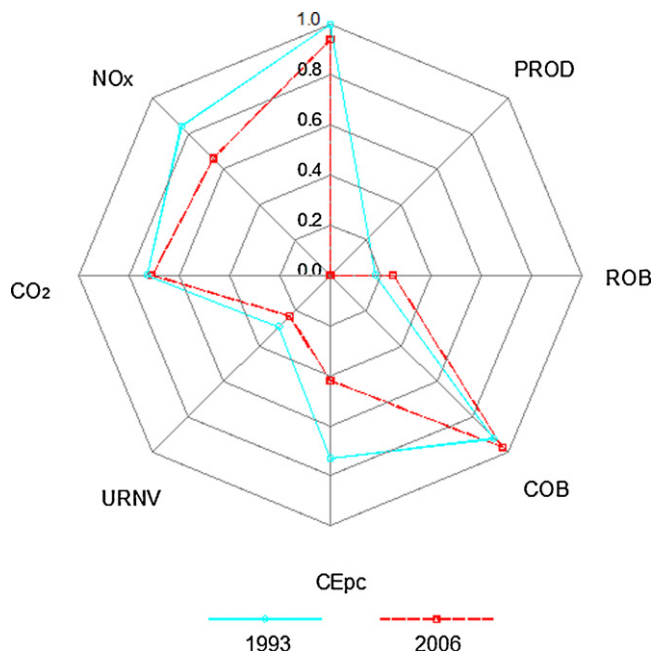


Fig. 1. Mexico's global sustainable radial graph.

However Mexico is different from its northern border in the following ways: sustainability in Mexico is higher than the MNB in the environmental dimension, size increases in the social dimension, and in the economic dimension productivity is lower in Mexico than in the border; instead the robustness is minor in the northern border than in Mexico. In terms of autarky the values were very close to unity in the country over two years. The values for the border in 1993 were larger than those in 2006 but did not reach the levels of Mexico (Figs. 1 and 2).

Productivity is positively correlated with a higher degree of sustainability. This does not necessarily guarantee energy efficiency, however. One needs to take into account the structural effects, such as the weight of the other industries and sectors in the total

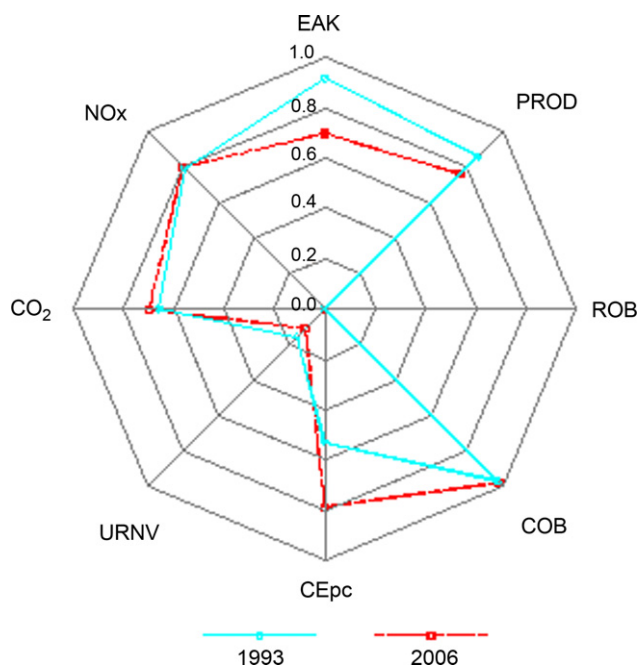


Fig. 2. Mexico's northern border global sustainable radial graph.

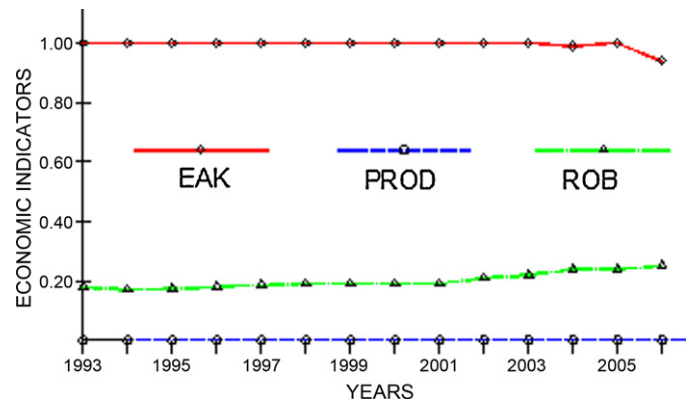


Fig. 3. Economic indicators of Mexico.

accounting of the economy, especially because the border regions place much weight on the maquiladora industry and yet have better values than Mexico. The border regions have a great weight of the maquiladora industry and yet have better values than Mexico. Robustness showed higher levels in Mexico than in its northern border in 1993 and in 2006 (Figs. 1 and 2).

Two of the three indicators of economic size in the northern border of Mexico showed the country's highest levels, although they decreased slightly in 2006. Regarding the social dimension, both indicators showed better performance in border region as a whole, as they increased their values better than Mexico in 2006. Regarding environmental indicator CO₂ emissions were very similar in the two regions for both years. The NO_x emissions were also similar in both regions, although low levels were recorded in Mexico in 2006. Regarding the use of renewable energy sources, the two regions had almost identical values in the two years. The global indicator for Mexico was 26.8% in 1993 and 25.2% in 2006, whereas the equivalent for MNB was 34.3% in 1993 and 32.4% in 2006 (Figs. 1 and 2).

The trend of evolution of the economic dimension was more stable for the country of Mexico than for the northern border. The productivity was zero over the entire period for Mexico, while the MNB had a mean value of 0.8. In the social dimension the MNB has higher values (mainly in terms of ECpc), which also grew at a faster rate than they did in Mexico. The environmental dimension highlights the limited contribution of renewable energies in both regions. In the MNB the final year of measurement showed lower renewable energy use than in earlier years (Figs. 3–8).

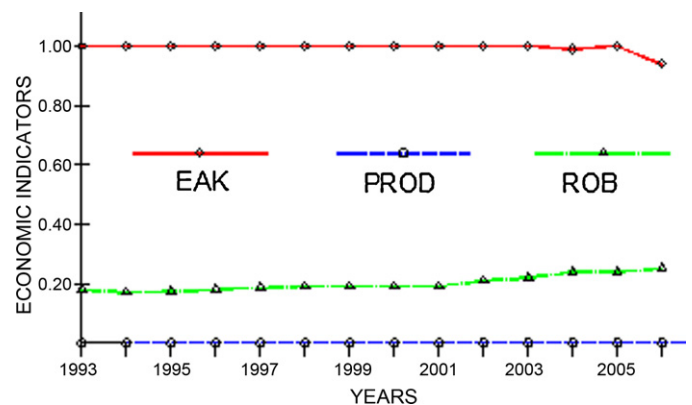


Fig. 4. Mexico's northern border economic indicators.

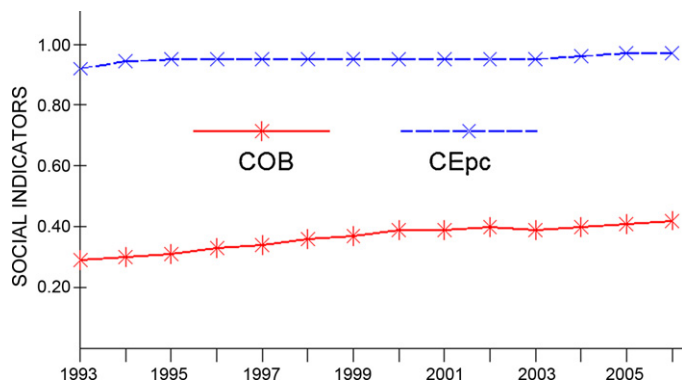


Fig. 5. Social indicators of Mexico.

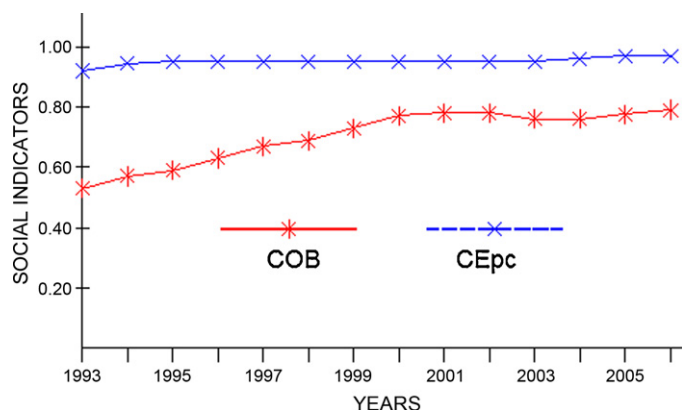


Fig. 6. Mexico's northern border social indicators.

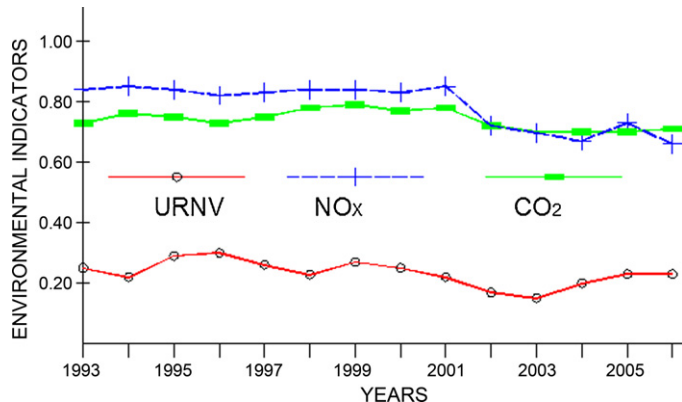


Fig. 7. Environmental indicators of Mexico.

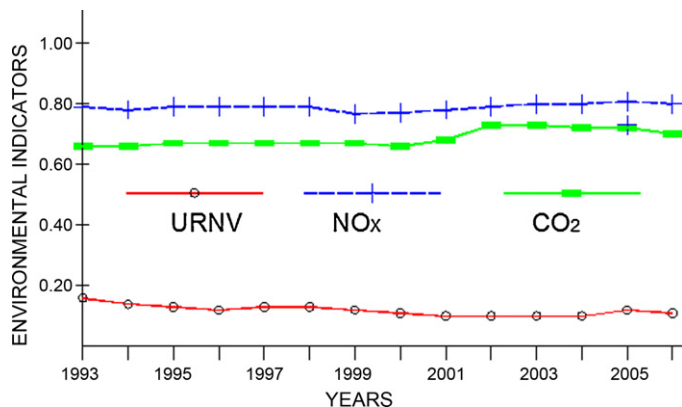


Fig. 8. Mexico's northern border environmental indicators.

4. Conclusions

By evaluating the development of the electricity industry from the point of view of a single dimension, we obtained partial results. However, if by introducing at least the social, economic and environmental aspects, we can get a more objective assessment for electricity industry development. With normalization of the indicators, it is possible to define the standards of sustainability, compare between different dimensions of development and measure progress toward sustainable development.

The set of indicators applied to Mexico and to its northern border show differences in sustainable development between two regions, with the global indicator having the most impact in the MNB. In general, the dimensions present an almost constant behavior in the entire period studied. In the MNB, the economic dimension (e.g. autarky and productivity) showed decreased sustainability whereas the social dimension (e.g. electrical consumption per capita) showed increased sustainability at the end of the period studied.

The increasing trend in the electrical consumption per capita in the MNB is made possible by its high electrical coverage, which also explains the air conditioning found in the houses and buildings. The use of renewable energy sources is an indicator that debilitates the environmental dimension in the northern border of Mexico in significantly larger measure than in the country itself; nevertheless, the emissions are decreased in the border.

It is necessary to promote energy policies that can balance sustainability levels of dimensions studied, especially by encouraging the use of primary sources renewable energy. Since the sub-region formed by Baja California, Sonora (Desert of Altar), Chihuahua and Coahuila (Desert of Samalayuca, the largest desert in Mexico) is located in the world's biggest solar radiation strip, it has great potential for generating solar energy that can reach values of up to 5–6 kWh/m²/day (NREL [35]). There is also great potential for wind energy in the Sierra Madre Occidental area, as well as the coasts along the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean. Promoting these policies would bring benefits to all three-dimensional developments because doing so would enable Mexico's northern border region to have self-sufficient supplies of electricity using renewable and clean resources.

On the other hand, it is necessary to implement and create citizen participation forums or institutions outside the scope of the federal government regarding the policy development of the electricity industry. The Mexican State, its institutions and its society must think and provide elements for the integrating of globalization with a future vision to overcome under-development and to join the world in the best way possible without compromising the progress made throughout its history. The electricity industry can play a strategic role in this effort to support the economy.

References

- [1] Comisión Reguladora de Energía, "Permisos y Resoluciones". <http://www.cre.gov.mx/registro/index.html> [consultation date: 2002–2007].
- [2] Viqueira J. "La industria eléctrica en el mundo: Otros modelos de organización y regulación del servicio eléctrico". En El sector eléctrico de México, Coordinador Daniel Reséndiz Nuñez. México: Comisión Federal de Electricidad, Fondo de Cultura Económica; 1994. p. 403–26.
- [3] Kelly G. Marco legal y regulación del servicio público de energía eléctrica en México. En El sector eléctrico de México, Coordinador Daniel Reséndiz Nuñez. México: Comisión Federal de Electricidad, Fondo de Cultura Económica; 1994. p. 43–68.
- [4] Rodríguez G. "Evolución de la industria eléctrica en México". In: En El sector eléctrico de México, Coordinador Daniel Reséndiz Nuñez. México: Comisión Federal de Electricidad, Fondo de Cultura Económica; 1994. p. 15–42.
- [5] Vázquez M. El norte de México: heterogeneidad económica y formas de integración al sur de Estados Unidos.
- [6] Vázquez M. La región fronteriza del norte de México: Nuevo perfil y propuesta metodológica para su estudio. Paper, AMECIDER; 2007.

- [7] Hernández MC, Soto AC, Vázquez MA. Impacto subregional del TLCAN Sonora en el contexto de la frontera norte. *Frontera Norte* 2008;40(July–December):105–34.
- [8] Strategic guidelines for the competitive and sustainable development of the U.S.–Mexico transborder region. Border Governors conference, Monterrey, Mexico. <http://bordergovernors.org/en/pdf/Strategic.Guidelines.ENG.pdf>; 2009.
- [9] Organización de Naciones Unidas. “Programa 21”. http://www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/res_agenda21_40.shtml; 1992 [consultation date: 20 de enero de 2009].
- [10] International Atomic Energy Agency. Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies. Austria: IAEA; 2005.
- [11] Vera I, Langlois L. Energy indicators for sustainable development. *Energy* 2007;32:875–82.
- [12] Patlitzianas K, Doukas H, Kagiannas A, Psarras J. Sustainable energy policy indicators: review and recommendations. *Renewable Energy* 2008;33: 966–73.
- [13] Schaeffer R, Szklo SA, Monteiro Cima F, Machado G. Indicators for sustainable energy development: Brazil's case study. *Natural Resources Forum* 2005;29:284–97.
- [14] Olimpio Jr PA, Soares JB, de Oliveira RG, de Queiroz RP. Energy in Brazil: toward sustainable development? *Energy Policy* 2008;36:73–83.
- [15] Pérez D, López I, Berdellans I. Evaluation of energy policy in Cuba using ISED. *Natural Resources Forum* 2005;29:298–307.
- [16] Medina-Ross JA, Mata-Sandoval JC, López-Pérez R. Indicators for sustainable energy development in Mexico. *Natural Resources Forum* 2005;29:308–21.
- [17] Streimikiene D, Ciegis R, Grundey D. Energy indicators for sustainable development in Baltic States. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2007;11: 877–93.
- [18] OLADE, CEPAL, GTZ. Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: Enfoques para la política energética. Quito, Ecuador: OLADE; 1997.
- [19] Quiroga R. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. Serie Manuales, vol. 16. Santiago, Chile: OLADE; 2001.
- [20] Segnestam L, Winograd M, Farrow A. Desarrollo de indicadores: Lecciones aprendidas de América Central. Washington, D.C.: Informe del Proyecto CIAT-BM-PNUMA, BIRD-BM; 2000.
- [21] Kim S. Evaluation of negative environmental impacts of electricity generation: Neoclassical and institutional approaches. *Energy Policy* 2007;35:413–23.
- [22] Anderson KL. Reconciling the electricity industry with sustainable development: backcasting a strategic alternative. *Futures* 2001;33:607–23.
- [23] Karger CR, Wilfried H. Sustainability evaluation of decentralized electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13:583–93.
- [24] Albrecht K-F, Orlamünder D. Electricity consumption: the growth pattern as an ecological indicator. *Ecological Modelling* 2008;216:127–33.
- [25] Liddle B. Electricity intensity convergence in IEA/OECD countries: aggregate and sectoral analysis. *Energy Policy* 2009;37:1470–8.
- [26] Cancino-Solorzano Y, Villicaña-Ortiz E, Gutiérrez-Trashorras AJ, Xiberta-Bernat J. Electricity sector in Mexico: current status. Contribution of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009.
- [27] Navarro P. “Estudio comparativo de la sustentabilidad del sector eléctrico de México y del Estado de Sonora”. Tesis de maestría, DEPI-UNAM; 2003.
- [28] Arizona Department of Commerce. “Arizona Workforce Informer” <http://www.workforce.az.gov/?PAGEID=67&SUBID=143> (consultation date: October 2009).
- [29] Comisión Federal de Electricidad. Estadísticas por Entidad Federativa 1993–2006. México, D.F.: CFE; 1993–2006.
- [30] Comisión Federal de Electricidad. Informe de Operación 1993–2006. México, D.F.: CFE; 1993–2006.
- [31] Comisión Federal de Electricidad. “Informe anual 2006”. <http://www.cfe.gob.mx/informe2006/archivos/034.html> [consultation date: October 2007].
- [32] Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. “Banco de información económica”. <http://dgcnesy.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe> [consultation date: 2008].
- [33] Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, A.C., Justificación para la selección de metodología para calcular las reducciones de dióxido de carbono de proyectos de eficiencia energética y energías renovables, líneas base de las tasas de emisiones de gases efecto invernadero. México, D.F.: ATPAE; 2003.
- [34] Jiménez C, Blanca. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. México, D.F.: LIMUSA; 2001.
- [35] National Renewable Energy Laboratory. “Solar Resource Data”, <http://www.nrel.gov/rredc/solar.data.html> [consultation date: September, 2009].