



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA ENERGÍA – SISTEMAS ENERGÉTICOS**

**CARACTERIZAR VULNERABILIDAD ENERGÉTICA EN EL CONTEXTO  
MEXICANO ACTUAL**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:**  
**JUAN MANUEL ROMERO BRAVO**

**TUTORA PRINCIPAL**  
**KARLA GRACIELA CEDANO VILLAVICENCIO, INSTITUTO DE ENERGÍAS**  
**RENOVABLES, UNAM.**

Temixco, Morelos. Junio, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

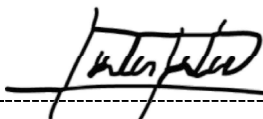
**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Del Río Portilla Jesús Antonio  
Secretario: Dr. Martínez Fernández Manuel  
1 er. Vocal: Dra. Cedano Villavicencio Karla G.  
2 do. Vocal: Dr. Mejía Montero Adolfo  
3 er. Vocal: M.I. Barrios Beltrán Rosanety

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Temixco, Morelos. México.

**TUTORA DE TESIS:**

Dra. Cedano Villavicencio Karla G.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Karla G. Cedano', is written over a horizontal dashed line.

**FIRMA**

## Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado en este proyecto (1085282). Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Instituto de Energías Renovables (IER), por todo lo que me ha permitido crecer y vivir siendo parte de esta hermosa comunidad. También, a la Universidad de Birmingham y a las líderes de ESLatina por permitirme ser parte de este gran proyecto.

Agradezco a mi maestra y tutora, Dra. Karla G. Cedano. Siempre estaré agradecido por el gran apoyo y confianza que me brindó, por su conocimiento, ayuda, paciencia y tiempo, y sus palabras para alentar mi crecimiento académico y personal.

A mis sinodales y maestros, por brindarme sus conocimientos, su orientación, comentarios, opiniones y tiempo que enriquecieron este trabajo. A todos mis maestros del posgrado, me siento afortunado de haberlos tenido como profesores y guías, que con su compromiso y trabajo como investigadores me inspiraron a superarme y fomentar mi desarrollo académico.

Al personal administrativo del IER que estuvo presente para acompañarme en todos los trámites que se presentaron.

Finalmente agradezco a mis padres que por su amor, apoyo, esfuerzo y sacrificio logré llegar hasta este punto. A mi familia en general (abuelos, hermanas, sobrina y cuñado) que me dan la fortaleza para seguir adelante, que tienen mi admiración y que han sido una inspiración. A mi amigo, Diego, quien siempre me ha ayudado en mi proceso de aprendizaje, desde el ingreso al posgrado hasta mi egreso, he contado siempre con su apoyo incondicional. A mis compañeros de posgrado quienes me explicaron cuando no llegué a comprender algún tema, en especial a Tiare que me acompañó en el desarrollo de este trabajo.

Gracias.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
CAPÍTULO 1 .....	8
1. Introducción .....	8
Justificación .....	12
Hipótesis.....	12
Objetivo.....	12
Objetivos específicos.....	13
CAPÍTULO 2 .....	14
2. Marco Teórico .....	14
La vulnerabilidad energética, la sociedad y los sistemas energéticos .....	14
CAPÍTULO 3 .....	22
3. Metodología .....	22
3.1 Métricas para evaluar la Vulnerabilidad Energética .....	22
CAPÍTULO 4 .....	41
4. Resultados .....	41
CAPÍTULO 5 .....	73
5. Conclusiones y recomendaciones .....	73
5.1 Conclusiones.....	73
5.2 Recomendaciones .....	76
Bibliografía .....	78
Apéndice.....	81
Conceptos.....	81

## RESUMEN

El término de vulnerabilidad energética (VE) se introdujo en la década de los ochentas en Europa a raíz de la crisis económica derivada del embargo de petróleo realizado por el bloque árabe de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Sin embargo, definir el concepto de vulnerabilidad energética no ha sido sencillo, ya que se han generado distintas vertientes por el alcance que puede tener el término, la definición se ha ligado al ingreso económico, al petróleo, al sistema energético y a los hogares, en las cuales se han estudiado las circunstancias sociales y económicas, también al individuo y al hogar que no logra tener completar el acceso a los servicios energéticos (Murias, 2020).

En los últimos años se ha buscado caracterizar la vulnerabilidad energética en distintos países, algunos ejemplos de ello son el Reino Unido, España, Sudáfrica, Australia, entre otros. Dichos análisis se han realizado con datos energéticos y con análisis de datos de los hogares. En México no se cuenta con caracterización de la vulnerabilidad energética con datos institucionales, sólo han realizado análisis externos con datos del banco mundial por investigadores extranjeros.

En este trabajo se propone una caracterización de la vulnerabilidad energética enfocada al sistema energético, partiendo de un índice de VE multidimensional, el cual se ha modificado.

Se trabaja con datos institucionales, de la Secretaría de Energía, la Comisión Federal de Electricidad y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Continuando con el enfoque multidimensional de la vulnerabilidad energética, añado la caracterización de eventos críticos, que deben de entenderse como fenómenos naturales que afectan al sistema energético.

Al realizar esta caracterización se busca representar la VE del país por medio de radares, para facilitar la toma de decisiones en materia energética, y así disminuir el riesgo energético a escala nacional y contribuir a la resiliencia del sistema. Muestro en este trabajo la agrupación

de distintas dimensiones que caracterizan la vulnerabilidad del sistema energético mexicano de forma analítica y geográfica. Con las variables se crean los radares que caracterizan al sistema en el bloque energético, del país y de eventos críticos, se entrega un análisis del comportamiento de las variables durante el intervalo del año 2009 al 2019. Y finalmente se presentan mapas que son parte de la caracterización de la VE.

## ABSTRACT

The term energy vulnerability (EV) was introduced in the eighties in Europe as a result of the economic crisis derived from the oil embargo carried out by the Arab bloc of the Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC). However, defining the concept of energy vulnerability has not been easy, since different aspects have been generated due to the scope that the term can have, the definition has been linked to economic income, oil, the energy system and households, in which the social and economic circumstances have been studied, also the individual and the household that cannot have complete access to energy services (Murias, 2020).

In recent years, efforts have been made to portray vulnerability in different countries, some examples of which are the United Kingdom, Spain, South Africa, Australia, among others. These analyzes have been carried out with energy data and with analysis of household data. In Mexico there is no portrayal of energy vulnerability with institutional data, external analyzes have only been carried out with data from the World Bank by foreign researchers.

In this paper, I propose a portrayal of energy vulnerability focused on the energy system, based on a multidimensional EV index, which I have modified.

I work with institutional data, from the Ministry of Energy, the Federal Electricity Commission and the National Institute of Statistics and Geography. Continuing with the multidimensional approach to energy vulnerability, I add the portrayal of critical events, which must be understood as natural phenomena that affect the energy system.

When carrying out this portrayal, I am seeking to represent the EV of the country through radars, to facilitate decision-making in energy matters, and thus reduce the energy risk on a national scale and contribute to the resilience of the system. I show in this work the grouping of different dimensions that portray the vulnerability of the Mexican energy system in an analytical and geographical way. With the variables, the radars that characterize the system in the energy block, of the country and of critical events are created, an analysis of the behavior of the variables during the interval from 2009 to 2019 is delivered. And finally maps are presented that are part of the characterization of the VE.



# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

El término de vulnerabilidad energética se introdujo en la década de los ochentas en Europa a raíz de la crisis económica derivada del embargo de petróleo realizado por el bloque árabe de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Esto ocasionó que los gobiernos europeos prestaran atención a la desigualdad energética cada vez más creciente entre sus respectivas poblaciones, principalmente en grupos vulnerables como ancianos y personas con alguna discapacidad. (Snell, 2015)

Sin embargo, definir el concepto de vulnerabilidad energética ha generado muchos debates por el alcance que puede tener el término, a continuación, mostraré los distintos enfoques que se le ha dado por los autores. En un principio la vulnerabilidad energética dependía directamente del ingreso económico (Bouzarovski S. T., 2017) y en algunas definiciones se ligaba con el petróleo. En el año 2008 se definió la vulnerabilidad energética en función del petróleo, se entendía como el estado en el que se encontraba un país importador de petróleo, y por lo tanto eres un país extremadamente vulnerable a los acontecimientos internacionales (Gupta, 2008). Otra definición de vulnerabilidad energética la hace ver como una situación en la que un país no es capaz de tomar decisiones de política energética de manera libre y soberana, o tomarlas, pero a un costo económico o político colectivamente insoportable (Percebois, 2007).

Una década después el concepto tomo tintes sociales, y es así como para la mitad del decenio surgen nuevas definiciones, entre ellas, destaca la de Bouzarovski y Petrova, en la cual llaman vulnerabilidad energética a la incapacidad de un hogar de alcanzar un nivel social y materialmente necesario de servicios domésticos de la energía (Bouzarovski S. P., 2015). Ellos ven la vulnerabilidad energética como un pensamiento probabilístico de factores que llevan a la pobreza energética. Cabe mencionar que la pobreza energética se preocupa por quienes no tienen acceso a servicios energéticos, mientras que la vulnerabilidad energética se ocupa de quienes tienen la propensión de experimentar esta situación en el hogar, donde

no pueden llegar a recibir una cantidad adecuada de servicios energéticos (Bouzarovski S. P., 2015). Ya que corren el riesgo de quedarse sin acceso a ellos.

La vulnerabilidad energética de los hogares tiende a confundirse con la de la población vulnerable socioeconómicamente, asumiendo que la única fuente de vulnerabilidad energética de los hogares es la económica (Murias, 2020). Considerando todas estas definiciones se puede observar que el concepto de vulnerabilidad es multifactorial ya que no solo se enfoca a los hogares, sino más bien es una fase que también puede ser aplicada al sistema energético. Con ello se puede asumir que la vulnerabilidad energética es una fase; mas no un estado como se estableció en la primera década del siglo XXI. Entendiendo estado como una situación permanente y fase una situación que está en cambio continuo.

En el 2012, Walker propuso la siguiente definición. La vulnerabilidad energética se puede ver como el resultado de una dinámica más amplia de injusticia, abarcando la distribución de recursos económicos, así como las relaciones políticas (Walker G. D., 2012). De esta definición se puede tomar nuevamente la multifactorialidad del concepto, y se incluye el termino de injusticia.

Al ser un concepto multifactorial se debe ser cuidadoso en lo que se desee resaltar. La vulnerabilidad energética se ha usado para explicar diversas situaciones, una de ellas es la que trata Thomson, por ejemplo, el caso del confort térmico. Para este caso, algunos de los factores que deben considerarse son: la probabilidad de que una casa se sobrecaliente, riesgo de exposición; la capacidad de una persona para responder al calor interior excesivo en caso de que ocurra, su capacidad de adaptación, y el riesgo de que tenga consecuencias perjudiciales para su bienestar, es decir, su sensibilidad. Con estas tres fases es cómo define Thomson la vulnerabilidad energética enfocada al confort térmico. Pero como ya se mencionó el concepto permite ir más allá de la calefacción de espacios (en este caso el sistema energético de un país) e incluir una gama más amplia de causas e impactos asociados con la privación de energía doméstica (Thomson H., 2019) o al sistema energético. Dentro de estas definiciones de vulnerabilidad energética, se encuentra la de Bouzarovski, que menciona, la vulnerabilidad energética sirve para resaltar los factores subyacentes que conducen a la pobreza energética, al encapsular los factores de riesgo que contribuyen a la precariedad de espacios y grupos de personas particulares (Bouzarovski S. P., 2015).

En Latinoamérica se tiene una problemática mayor, ya que no se cuenta con la infraestructura adecuada para la prestación de servicios energéticos, de acuerdo con los estándares tecnológicos y ambientales modernos. Por lo que la vulnerabilidad energética está arraigada en la ausencia de infraestructuras técnicas adecuadas para la prestación de servicios energéticos (Bouzarovski S. T., 2017). Y se debe considerar este factor dentro del análisis de la vulnerabilidad en los hogares, ya que su suministro no es el adecuado y es aquí donde ahora el concepto de vulnerabilidad energética tiene lugar en los servicios energéticos que brindarán servicios a los hogares, y se define como el grado en que es más probable que un sistema o entidad energética quede expuesto a eventos adversos o cambios, y los riesgos de caer en trampas en términos económicos, sociales, ambientales y de gobernanza (Gatto A. B., 2020).

La evaluación de la vulnerabilidad energética es fundamental para el análisis de riesgos de las infraestructuras y los recursos clave – por ejemplo: red de transmisión, generación de energía y el uso de ella en el hogar, entre otras -, para ofrecer recomendaciones políticas. Pero no basta enfocarse en la parte energética para este concepto como ya se ha tratado, también se debe enfocar en la parte social, principalmente en los grupos vulnerables que conduzcan hacia el diseño y creación de las políticas públicas. Además, la vulnerabilidad energética concebida como la exposición de un sistema energético a eventos adversos y cambios, a menudo se superpone con otros conceptos como resiliencia – adaptación al cambio -, seguridad, pobreza, justicia y sostenibilidad (Gatto A. B., 2020).

La vulnerabilidad energética, en su planteamiento, prevé vías para formular políticas públicas para promover la resiliencia dignas de esbozar futuros de desarrollo sustentable, decisivas para modelar asociaciones público-privadas y estrategias para la toma de decisiones (Azapagic, 2005).

El estudio de la vulnerabilidad energética además de enfocarse en los grupos vulnerables mencionados busca abarcar a una mayor población como son los niños, niñas y adolescentes. No hay investigaciones sobre los sistemas de energía renovable y sus impactos en la salud de los niños, niñas y adolescentes (Cox, 2017). También se debe considerar el tema de educación en el correcto uso de la energía y los beneficios que tiene.

El concepto de vulnerabilidad energética ha ido evolucionando y considerando numerosos factores en su estudio. Por ello es momento de traer a la discusión el tema del cambio climático. Los sistemas energéticos son vulnerables al cambio climático. Las evaluaciones de vulnerabilidad de los sistemas energéticos se encuentran al final de una cadena de incertidumbres acumulativas. Por lo tanto, es importante que dichos estudios se realicen como análisis de escenarios, en lugar de predicciones (Schaeffer, 2012).

El impacto que llega a generar el cambio climático en los sistemas energéticos puede considerarse en dos formas, impacto en la oferta e impacto en la demanda. Esto quiere decir que durante todo el proceso de brindar el servicio se pueden tener diversas problemáticas, que principalmente son por variaciones de temperatura y precipitaciones, entre otras como vientos, sequías, incendios, etc. Y es el cambio climático lo que acentúa dichas variaciones.

Un ejemplo de esto es el caso de Sudáfrica, donde el cambio climático ha generado un aumento de las precipitaciones en el interior y el este de dicha nación. Sudáfrica enfrenta el desafío de la generación de electricidad y contar con un buen sistema de transporte. Se han realizado varios estudios que han revelado la susceptibilidad de las líneas eléctricas de distribución y transmisión a condiciones climáticas extremas y se ha demostrado que las líneas de transmisión de Sudáfrica son vulnerables a los fuertes vientos, inundaciones y relámpagos (Majodina, 2018). Adicionalmente, para el caso particular de México, se atendería el caso de los sismos.

El cambio climático ocasiona a nivel global este tipo de problemáticas que repercuten en los hogares. A pesar de esto los sistemas de energía a menudo no incorporan los efectos de las variaciones futuras del clima en su planificación y operación (Schaeffer, 2012). Las ciudades de hoy en día generalmente no están equipadas para abordar el dramático crecimiento urbano y la presión sobre la infraestructura existente de una manera sostenible, especialmente con respecto a sus sistemas energéticos. Para ser sustentables, las ciudades deben, por sí mismas, o en los recursos que controlan, volverse bajas en carbono, resilientes y habitables (Joss, 2015), ya que aproximadamente el 75% de la energía que se genera a nivel mundial se consume en las ciudades (Dodman, 2009). La transición a una ciudad baja en carbono es pasar de los combustibles fósiles a fuentes de energía renovables y reducir los niveles de consumo de energía urbana.

Garantizar los servicios energéticos debe ser la estrategia para erradicar la vulnerabilidad energética, teniendo en cuenta las necesidades de los hogares, su gran diversidad, los grupos vulnerables y aquellos que no se han considerado como son los niños, las niñas y adolescentes. Los sistemas energéticos deberán ser modernos, asequibles, confiables, sostenibles y universales. Con ello se garantiza el cuidado del ambiente y de la población.

### Justificación

La vulnerabilidad energética en México y en el mundo es un tema de reciente investigación y hasta en fechas recientes se ha empezado a utilizar en varios países como México.

En este trabajo se busca caracterizar la vulnerabilidad energética que se vive en el país enfocada a sistemas energéticos. Esto con la finalidad de aplicar los conocimientos de vulnerabilidad energética en México, caracterizando distintas variables que describan la situación del país con datos de instituciones nacionales y, con ello mejorar la calidad de vida de la población, como un auxiliar en la definición de políticas públicas.

### Hipótesis

La vulnerabilidad energética (VE) en México no cuenta con investigaciones puntuales que valúen el sistema energético. En esta tesis se toman índices ya establecidos por otros investigadores a nivel mundial para evaluar multidimensionalmente la vulnerabilidad energética de la nación. Y así representar mediante perfiles la caracterización del país por medio de distintos factores.

### Objetivo

Estudiar y caracterizar la vulnerabilidad energética (VE) que vive la población mexicana con enfoque en sistemas energéticos.

## Objetivos específicos

- Caracterizar la vulnerabilidad energética del país y compararla con datos de otras naciones
- Presentar radares que reflejan la situación de vulnerabilidad energética en México
- Presentar mapas que caracterizan la vulnerabilidad del sistema energético del país

El objetivo de la caracterización de la vulnerabilidad energética en México busca sentar bases en este ámbito, para una toma de decisiones informada, donde se considere el cambio climático y se contemple la sustentabilidad, ya que como se ha mencionado no existe gran cantidad de información. Además de que se muestran mapas que reflejan el sistema energético y la localización puntual de sismos que afectan como se explicara en los siguientes capítulos.

Todo ello se va a representar por medio de radares y/o perfiles con las distintas variables que caracterizan la vulnerabilidad para tener un análisis multidimensional de los distintos ámbitos que pueden estudiarse. Además, al final se encuentra un apéndice con algunos términos que pueden ayudar a la comprensión de este trabajo.

## CAPÍTULO 2

### 2. Marco Teórico

#### La vulnerabilidad energética, la sociedad y los sistemas energéticos

En el capítulo anterior se mencionó como la vulnerabilidad energética llega a confundirse con la de la población vulnerable socioeconómicamente, y ahora es momento de resaltar el vínculo existente con la sociedad, con los hogares, con las familias y los individuos y enfocar el trabajo hacia los sistemas energéticos.

En el marco de los hogares, se considera que éstos pueden entrar y salir de la vulnerabilidad energética, por diversos factores como son sus ingresos, la calidad de los servicios energéticos, sus ideologías, costumbres y tradiciones.

El análisis de la vulnerabilidad energética debe ligarse con otros conceptos que se interrelacionan como son resiliencia energética, seguridad, justicia y sostenibilidad e integrar estos conceptos como pilares fundamentales en enfoques pluralistas, que buscan medidas alternativas de progreso (Gatto & Drago, 2020). Ya que la vulnerabilidad energética, refleja la injusticia energética y se encamina a ser resiliente, al resaltar las vulnerabilidades del sistema que deberán subsanarse. Y es así como puede verse que el sistema energético es un elemento fundamental del esquema de tres ejes (economía, medio ambiente y sociedad), que debe orientar y guiarse por nuevos modelos de gobernanza (Gatto, A., 2020).

Trabajando la vulnerabilidad energética hacia los sistemas energéticos se reafirma que no sólo debe verse como una medición aislada de los hogares, sino que debe analizarse para toda la sociedad, buscando políticas sociales que tengan principios de justicia social y sostenibilidad ambiental (Bouzarovski & Simcock, 2017). Teniendo en cuenta estos ejes puede plantearse la definición de vulnerabilidad energética para el sistema energético y para lo subsecuente del trabajo la elección de variables a representar.

Teniendo la caracterización del sistema energético, y las variables. Se busca que el trabajo vaya encaminado a la justicia social, ya que debe reconocerse en todo el sistema energético.

Se debe ver a la justicia social (ver apéndice) como un círculo que abarca todas las relaciones sociales (Donati, 1948) y del sistema.

La Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja consideran que la vulnerabilidad energética es un concepto relativo, dinámico y multidimensional que precede a la pobreza, atribuible a la reducida capacidad de las personas o grupos para afrontar y recuperarse (natural o humana), atribuible al impacto de factores físicos, económicos, sociales y políticos (Murias, 2020).

Además, existe el término de justicia distributiva donde se consideran las desigualdades sociales, económicas y culturales asociadas con las políticas energéticas (Walker G. D., 2012). Siguiendo en esta línea se debe atender las necesidades de la población por zonas específicas, por ejemplo, una zona periurbana. La zona periurbana puede definirse como un área urbanizada contigua y que incluye una mezcla de usos rurales y urbanos que a su vez parecen estar integrados funcionalmente a la ciudad (Aguilar, 2003).

Estas zonas se destacan por ser difusas ya que no tienen límites precisos son dinámicas y cambiantes. Es una zona transicional de campo a ciudad que va perdiendo tierras productivas. Se tiene una gran variación de actividades económicas y es una zona de conflictos entre ambos sectores, además de que en estas zonas las casas requieren cada vez más de un mayor consumo de energía eléctrica, debido a las necesidades de equipamiento (sistemas de refrigeración o calefacción, telefonía, acceso a Internet, etc.) (Ávila, 2001).

México es un país particularmente vulnerable a los impactos del cambio climático y los fenómenos naturales, como los sismos y huracanes. Los fenómenos hidro-meteorológicos, son cerca de cinco emergencias graves por año, por eso la adaptación es fundamental para combatir los impactos que el cambio climático trae. Siendo estos referentes de la vulnerabilidad energética del sistema. Como estrategia prioritaria en primera instancia está la resiliencia de la población ante fenómenos que en muchos casos provocan la pérdida de vidas humanas y de sus bienes.

Sin embargo, es importante considerar no solo la resiliencia de las personas ante este tipo de eventos naturales, sino también la resiliencia de los sistemas energéticos. Si el sistema energético falla ante un desastre natural la población es la afectada, si se puede hacer el



sistema energético resiliente los daños a la población disminuirán, por eso es importante desarrollar políticas públicas donde la resiliencia energética de los sistemas sea una prioridad, con esto se ayuda a mitigar no solo la vulnerabilidad y pobreza energética sino también los efectos del cambio climático y los eventos sísmicos.

En una revisión del tema de vulnerabilidad energética en México enfocado a instituciones y política pública, se encontró que en 2006 se empieza hablar de este tema por parte de la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda, en la guía CONAFOVI del uso eficiente de la energía en la vivienda (CONAFOVI, 2006). En esa fecha se plantea la siguiente idea: las emisiones de GEI causados por la humanidad causan efectos importantes y estos cambios repercuten en el medio ambiente, en la sociedad y en la economía. Los impactos potenciales están relacionados con la magnitud del cambio climático y con la vulnerabilidad energética y adaptación del país.

La vulnerabilidad energética de los hogares no es sólo una preocupación económica para las familias pobres y la política social, sino también para toda la sociedad buscando principios de justicia social y sostenibilidad ambiental

Para el año 2017, la Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales publica un artículo titulado: Seguridad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México donde habla someramente de vulnerabilidad (Oswaldo, 2017), pero el tema se trae a la discusión. En este mismo año el Fundar, Centro de Análisis e Investigación A.C. publicó “Las actividades extractivas en México: Estado actual 2016”, donde se habla sobre el modelo energético mexicano explicando la importancia de los proyectos de promoción sobre energías renovables como una alternativa para hacer frente a una serie de problemáticas como la seguridad y la vulnerabilidad energética.

Después en el 2018 se publicó el trabajo “El acceso universal a la energía eléctrica. Datos y referencias para un análisis legislativo, de la Cámara de Diputados por parte del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública”. En este trabajo se tocan los temas de pobreza energética y se da una pincelada a la vulnerabilidad enfocada a la creación de políticas públicas para dar acceso al suministro eléctrico en zonas rurales aisladas.

Para este año la Comisión Nacional de Hidrocarburos advierte de la vulnerabilidad en seguridad energética que se vive en México por su dependencia de gas natural a USA (FORBES, 2018). Por su parte, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en su publicación de Seguridad energética “Análisis y evaluación del caso de México” habla explícitamente sobre vulnerabilidad energética como un riesgo energético, haciendo énfasis en el objetivo 7 del acuerdo de París (CEPAL, 2018).

En el año 2020, la Secretaría de Energía marca una acción puntual con relación a la vulnerabilidad energética, la cual es: “colaborar con la información estadística que se incluya en la plataforma oficial de información del sector energético, para la actualización del diagnóstico de vulnerabilidad del sector energético, programas y estrategias integrales de mitigación y adaptación al cambio climático” (SENER, Programa sectorial de energía 2020-2024, 2019). Esta acción es una estrategia de la Ley de Transición Energética para incorporar acciones a la diversificación de la matriz energética.

Finalmente, durante el año 2021 se han realizado publicaciones noticiosas como la que El País título “Crisis del gas: así fue la escalada que puso en jaque al sistema eléctrico de México”, donde se volvió a abordar lo que ya había comentado la Comisión Nacional de Hidrocarburos sobre la vulnerabilidad del sistema energético mexicano en 2018.

La siguiente tabla muestra algunos de los documentos por parte del gobierno federal y de instituciones que incorporan tanto políticas públicas relacionados a la vulnerabilidad energética, así como documentos sobre análisis de riesgos. Esta tabla se obtuvo por parte de la colaboración con ESLatina.

Institución	Año	Descripción
<i>PEMEX</i>	2011	Documentos que establecen las reglas de seguridad, salud y protección ambiental que los proveedores o contratistas deben seguir (PEMEX, 2011). También sobre las reglas que debe seguir en cuanto al análisis de riesgos de procesos y ductos considerando los riesgos de la seguridad física, esto a raíz de los incidentes ocurridos en 2007 en sus instalaciones de Querétaro, Guanajuato y Veracruz por la fuga o derrame de sustancias peligrosas (PEMEX,2010). A pesar de que esto pertenece al contexto de seguridad energética nacional, se

		considera importante debido a que si no se tiene un control de riesgos y ocurre algún accidente que impida el abasto de combustibles a la nación tanto la seguridad como la resiliencia energética se ven afectados, ya que el sistema energético presentará fallas, lo que lo vuelve vulnerable y no resiliente.
<i>SENER</i>	2017	Política pública de almacenamiento mínimo de petrolíferos. Algo que se menciona en esta Política de almacenamiento es que la seguridad energética depende dos cosas, temporalidad y estrategias para robustecer la autonomía energética del país a largo plazo, para así asegurar el abasto con un alto nivel de confiabilidad ante eventos que afecten el suministro en el corto plazo. También la dependencia de importaciones y escenarios internacionales a largo plazo son factores que influyen dentro de los requerimientos de reservas de hidrocarburos y el nivel de resiliencia del sistema energético del que se trate (DOF, Política pública de almacenamiento mínimo de petrolíferos, 2017).
<i>SENER</i>	2017	Política Pública en Materia Energética Aplicable a la Constitución de Almacenamiento de Gas Natural. Ésta forma parte de la estrategia trazada por la SENER para desarrollar un mercado líquido, a fin de salvaguardar los intereses y seguridad nacional incluyendo la seguridad energética, la sustentabilidad, la continuidad del suministro y la diversificación del mercado. Se establece la obligación de constituir un mínimo de 5 días de inventario estratégico de gas natural, los cuáles se usarán para la atención del suministro nacional únicamente con la metodología aprobada por el Consejo de Coordinación del Sector Energético (CCSE).
<i>CFE</i>	2019	Guía para la elaboración de programas para la prevención de accidentes, como el manejo de sustancias altamente riesgosas, incendios, zonas vulnerables, que hacer en casos de sismos y todas las normas que se deben cumplir por parte de la empresa (CFE, 2019). CFE cuenta con lineamientos para la elaboración de programas para prevención de accidentes que van desde los accidentes internos hasta los regionales. Como se mencionó en la fila anterior, si no se cuentan con lineamientos que ayuden a disminuir/prevenir riesgos/accidentes, las consecuencias las sufre el sistema energético, si ocurre un accidente en alguna planta de CFE y esta no cuenta con los lineamientos correctos, el sistema de esa zona

		o región se vuelve vulnerable y por lo tanto deja ver la falta de resiliencia.
<i>Gobierno federal</i>	2020	Programa sectorial de medio ambiente y recursos naturales. Dicho programa cuenta con cinco objetivos prioritarios, el primero es promover la conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y su biodiversidad con enfoque territorial y de derechos humanos, el segundo es fortalecer la acción climática a fin de transitar hacia una economía baja en carbono y una población, ecosistemas, sistemas productivos e infraestructura estratégica resiliente (por ejemplo, las personas que habitan zonas de alto riesgo como montañas, barrancas o zonas susceptibles de inundaciones y cómo éstas no cuenta con la capacidad económica de recuperarse de los desastres naturales); el tercero es acerca de promover el agua como pilar de bienestar; el cuarto es promover un entorno libre de contaminación del agua, el aire y el suelo; y el quinto es fortalecer la gobernanza ambiental (DOF, Programa sectorial de medio ambiente y recursos naturales, 2020).

Tabla 2.1 Políticas públicas en México (Obtenida por parte de ESLatina)

Ahora toca enfocarse en los sistemas energéticos, éstos requieren ser analizados a través de una estructura que permita entender los diferentes procesos y subsistemas que los integran, de una manera independiente, pero interconectada. Esto es debido a que los sistemas energéticos pueden ser considerados como una cadena integrada por una serie de eslabones interconectados que funcionan de manera coordinada para completar un último propósito: la provisión de servicios energéticos. Dichos eslabones de la cadena energética comprenden diferentes procesos, desde la extracción de recursos energéticos en bruto, como en el caso de algunos hidrocarburos, pasando por la transformación o producción, como lo es para la energía eléctrica y terminando en el consumo de servicios energéticos en hogares, negocios y oficinas.

El enfoque a la justicia energética desde los sistemas energéticos integrados fue mencionado por primera vez por Jenkins et al. (Jenkins, 2014) y fue posteriormente extendido por Heffron and McCauley (Heffron, 2017), quienes articularon los componentes de este marco conceptual de manera más explícita a manera de diferentes etapas integrando el ciclo de vida

de la cadena energética. De esta manera los autores identificaron cinco etapas o eslabones generales que hacen parte de un sistema energético integrado: (1) extracción, (2) producción, (3) operación y suministro, (4) consumo y (5) desecho. Otros autores como Fortier et al. (Fortier, 2019), han tomado el enfoque de sistemas energéticos integrales, reconociendo su efectividad y abriendo importantes canales de diálogo entre la literatura de energía renovable y justicia energética. Un enfoque de sistemas energéticos integrados puede facilitar las discusiones sobre cómo es que diferentes factores socio técnicos influyen en la vulnerabilidad del sistema energético de un país y los servicios energéticos que últimamente son accesibles a su población.

Sin embargo, es importante mantener la reflexividad acerca de las potenciales limitantes de utilizar un enfoque de sistemas energéticos integrados para evitar una incorrecta evaluación de las variables que influyen en la resiliencia o vulnerabilidad energética. Dentro de este contexto es importante reconocer que las diferentes etapas o eslabones de generación, suministro y operación y consumo, a pesar de conformar importantes unidades analíticas para evaluar un sistema energético, no existen de manera aislada. Esto significa que es posible que algunas de las variables que influyen en la resiliencia y vulnerabilidad de un sistema energético pueden ser encontradas en la intersección de dichas etapas o en ambas, en lugar de ser parte de una unidad de análisis en específico. El considerar que las etapas de un sistema energético pueden concebirse de manera aislado, puede ser perjudicial para el análisis del sistema energético en cuestión, y por ello debe tomarse en cuenta la naturaleza integrada del mismo (Jenkins, 2014).

Finalmente, a nivel mundial, las empresas de servicios públicos han experimentado interrupciones de energía causadas por fenómenos meteorológicos y climáticos severos (Yamba, 2011). Estos impactos meteorológicos y climáticos no se limitan a un tipo de fuente de generación de energía, sino que son comunes a casi todas, incluida la energía hidroeléctrica (Harrison, 2002), la energía eólica (Barthelmie, 2010), los biocombustibles (Lucena et al., 2009), energía solar (Fenger, 2007), petróleo y gas natural (Harsem y Heen, 2011) y energía térmica (Perkins, 2011). Los impactos proyectados de la variabilidad y el cambio climático en la producción de electricidad y la vulnerabilidad también se han investigado en instituciones de todo el mundo, con una amplia gama de resultados que

podrían ayudar a la gestión de riesgos meteorológicos y climáticos y al uso sostenible de la energía. Recursos (Van Vliet, 2012). Por ejemplo, un estudio de Hamlet et al. (2010), basado en proyecciones climáticas, informó sobre los impactos de la temperatura en el suministro de energía en el noroeste del Pacífico y el estado de Washington.

El evento más reciente sucedió en febrero del 2021, por tormenta invernal Texas suspendió el abastecimiento de gas a nuestro país. Ante el desabasto de gas para generar electricidad, México enfrentó cortes significativos de luz en los estados de Sinaloa, Sonora, Durango, Chihuahua, Saltillo y Nuevo León.

Se ha explicado cómo ha ido avanzando la concepción de vulnerabilidad energética y como se ve presente en el sistema energético mexicano, además de presentar casos relevantes y que pueden caracterizarse en este trabajo, lo siguiente es ¿cómo hacer esta caracterización? Eso se explica en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO 3

### 3. Metodología

En este tercer capítulo voy a explicar la metodología que he seguido para la obtención de las variables que visualizan la vulnerabilidad energética de México, así como el procesamiento que se les realizó y la explicación de los mapas elaborados.

#### 3.1 Métricas para evaluar la Vulnerabilidad Energética

Comienzo con la definición de vulnerabilidad que propongo después de unificar las definiciones presentadas anteriormente. La vulnerabilidad energética a escala de sistemas se define mediante un conjunto de variables multidimensionales que determinan el grado al cual un sistema energético deja de ser capaz de enfrentar eventos críticos, que deben de entenderse como fenómenos naturales que afectan al sistema energético, afectando el suministro de energía de un país.

Las variables propuestas para la medición de vulnerabilidad energética las he clasificado en tres grandes bloques: caracterización energética, caracterización del país y caracterización de eventos críticos. Estas variables están basadas en distintos análisis sobre el tema.

Dentro de los artículos que he revisado para mi propuesta de análisis de vulnerabilidad energética para México, destacan los siguientes, los cuales he utilizado para la elección de las variables que presento, el GEVI (The Global Energy Vulnerability Index) de Andrea Gatto, el análisis de vulnerabilidad energética realizado por Edgard Gnansounou, el OVI (Oil vulnerability index) de Eshita Gupta y el artículo de Majodina sobre la vulnerabilidad de la infraestructura de la red de transmisión eléctrica en Sudáfrica. La tabla 3.1 muestra las variables y la unidad de trabajo.

	<b>Variables</b>	<b>Unidades</b>
<b>CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA</b>	Independencia energética	%
	Intensidad energética	KJ/\$
	Importación de la energía	%
	Oferta interna bruta	%
	Consumo de energía per cápita	GJ/hab
	Consumo energético	%
	Exportación de energía primaria	%
	Consumo de energía renovable	%
	Nucleoenergía	%
	Consumo de energía de combustibles fósiles	%
<b>CARACTERIZACIÓN DEL PAÍS</b>	Acceso a la electricidad	%
	PIB Nacional	<i>MX/hab</i>
	Densidad Poblacional	Hab/km <sup>2</sup>
<b>CARACTERIZACIÓN DE EVENTOS CRÍTICOS</b>	Sismos	%
	Huracanes	%
	Lluvias	%

Tabla 3.1 Dimensiones y variables.

El GEVI se toma como punto de partida en la propuesta del índice, está compuesto de pilares, los cuales son: acceso a la energía, intensidad energética, importación de energía, consumo de energía renovable y exportación de energía. De ellas tome las que se adaptan a los datos existentes en los organismos revisados para la obtención de datos (SENER, CFE, INEGI). Después, correlacione con análisis de otros autores, llegando a las variables presentadas en la tabla anterior.

Algunas variables no son exactas, pero se asemejan a lo que se desea interpretar, en la siguiente tabla (3.2) muestro las variables con los autores de los que están inspiradas. Además, se presenta una variable propia por considerarse que permite saber cuánta población habita en un territorio de esa forma textualiza la robustez y la topología del sistema energético. Y basado en los análisis de índices realizados en México en cuestión de caracterización de fenómenos naturales se toma una por parte de la CENAPRED.



<b>Variab</b> les	<b>Autor</b>
Independencia energética	Gnansounou
Intensidad energética	Gatto
Importación de la energía	Gnansounou
Oferta interna bruta	Gnansounou
Consumo de energía per cápita	Variante de Gatto
Consumo energético	Variante de Gatto
Exportación de energía primaria	Variante de Gatto
Consumo de energía renovable	Gatto
Nucleoenergía	Gatto
Consumo de energía de combustibles fósiles	Gatto
Acceso a la electricidad	Gatto
PIB Nacional	Gupta
Densidad Poblacional	Propia
Sismos	CENAPRED
Huracanes	Majodina
Lluvias	Majodina

Tabla 3.2 Variables y autor

Los datos del GEVI son obtenidos del Banco Mundial. El Banco Mundial, es una de las fuentes más importantes de financiamiento y conocimiento para los países en desarrollo, está integrado por cinco instituciones (El Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, La Asociación Internacional de Fomento, La Corporación Financiera Internacional, El Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones y El Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones) comprometidas a reducir la pobreza, aumentar la prosperidad compartida y promover el desarrollo sostenible.

Mientras que los datos propuestos se obtienen de instituciones gubernamentales, como lo son la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Energía, Instituto de Estadística y Geografía, y la Comisión Federal de Electricidad. Además de que se proponen nuevas variables para el análisis de vulnerabilidad del país que se describen a continuación.

Para comenzar explicaré la situación energética del país, con datos obtenidos de la Secretaría de Energía (SENER, Balance Nacional de Energía, 2019). México cuenta con la medición de la producción de energía primaria, la cual para el 2019 estuvo compuesta principalmente

por combustibles fósiles con 87.6% de la matriz energética que incluye la producción de petróleo crudo, gas natural y carbón, donde el restante 10.5% corresponde a todas las renovables que incluye hidroenergía y bioenergía y 2% para la energía nuclear. Como se muestra en la tabla 3.3 y figura 3.1.

	2009	2011	2013	2015	2017	2019
<b>Total</b>	9520.84	9286.82	9045.26	8250.88	7027.22	6332.81
<b>Carbón</b>	254.67	392.28	299.88	287.69	308.24	230.46
<b>Hidrocarburos</b>	8551.41	8152.1	7994.3	7203.85	5940.6	5315.16
<b>Petróleo crudo</b>	6075.31	5933.53	5814.63	5067.69	4354.89	3788.64
<b>Condensados</b>	86.08	100.38	134.07	98.83	67.28	60.49
<b>Gas natural</b>	2390.03	2118.19	2045.61	2037.32	1518.43	1466.04
<b>Nucleoenergía</b>	112.75	106.39	122.6	120.41	113.22	124.82
<b>Renovables</b>	602.02	636.04	628.49	638.93	665.16	662.37
<b>Hidroenergía</b>	96.2	130.57	100.88	111.21	114.65	84.99
<b>Geoenergía</b>	152.69	149.3	131.32	134.53	127.43	112.88
<b>Energía solar</b>	0	0	0	0	15.16	40.32
<b>Energía eólica</b>	2.15	5.93	15.06	31.48	38.23	60.22
<b>Biogás</b>	1.07	1.51	1.97	1.87	2.52	2.8
<b>Biomasa</b>	349.91	348.73	379.26	359.84	367.18	361.17
<b>Bagazo de caña</b>	89.23	90.64	123.83	107	116.87	113.25
<b>Leña</b>	260.68	258.09	255.42	252.84	250.31	247.92

Tabla 3.3 Producción de energía primaria 2009-2019 (Fuente: SENER, 2019)

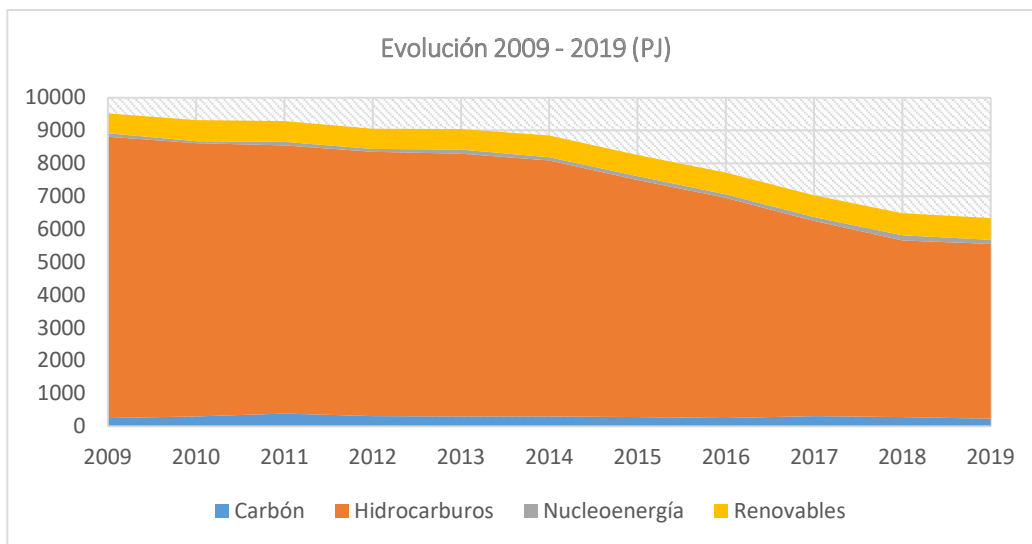


Figura 3.1 Producción de energía primaria 2009-2019 (Fuente: SENER, 2019)

El petróleo crudo es el principal energético del país a pesar de que en 2019 experimentó una desaceleración en su producción de 6.4% respecto de 2018, pasando de 5,315 PJ a 5,374 PJ. Respecto de los combustibles convencionales el gas natural aumentó su producción de 1,279 PJ a 1,466 PJ en los mismos años de referencia con un incremento del 14.6%. Los condensados también experimentaron un aumento del 23.7% pero su producción es baja con apenas 60 PJ para 2019.

Por el lado de las renovables la energía solar continúa siendo la energía con mayor crecimiento de los últimos años con 68%, pasando de 24 a 40 PJ lo que equivale a 11.2TWh de energía producida para 2019, sin embargo, su participación en el total nacional es de apenas de 0.6%.

La energía con mayor participación entre las renovables es la producida a partir de Biomasa que incluye bagazo de caña y leña con 5.7% pero igualmente su producción es de apenas 361 PJ muy por debajo de la participación de los combustibles fósiles.

La energía eólica también experimentó un crecimiento considerable llegando a 60 PJ respecto de su año predecesor 2018, con 47 PJ de energía producida, que le da un aumento de 27.8%.

Dentro de las renovables la solar y eólica fueron las únicas que experimentaron un crecimiento en los años de referencia donde incluso la hidroenergía y geotermia retrocedieron para 2019 con 85 PJ (-27.3%) y 113 PJ (-0.3%) respectivamente.

La hidroenergía solo representa para el país 1.3% del total de la producción energética nacional, siendo bastante bajo comparado con otros países de la región. La energía nuclear en el país cuenta con una sola planta de generación, produce apenas el 2% del total nacional con 125 PJ y experimentó igualmente un decrecimiento del 20% respecto del 2018.

Se puede dejar evidencia que, en cuanto a generación de energía, el país depende fundamentalmente de la producción de petróleo. Durante el año 2019 la producción de energía primaria disminuyó 2.40% respecto al año 2018 y totalizó 6,332,81 PJ. La reducción de la producción de carbón y petróleo crudo fueron los principales elementos que definieron este comportamiento en la reducción de la producción de energía a nivel nacional.

La primera variable por trabajar es la de acceso a la energía, la cual se define como la disponibilidad física de servicios modernos de energía para satisfacer las necesidades humanas básicas, a costos asequibles y que incluyen la electricidad. Dentro de este pilar se desagregan: acceso a la electricidad, pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas.

El acceso a la electricidad es indispensable para las personas y así tener una vida digna. El 98.68% de la población mexicana al año 2018 goza de este servicio, dato obtenido de la SEMARNAT, pero el porcentaje restante que no tiene acceso puede deberse a distintos factores como el aislamiento geográfico, el difícil acceso a zonas marginales y la dispersión de habitantes en las comunidades marginadas.

En cuanto a la producción de electricidad. México ocupa el puesto 13 entre los mayores productores de electricidad en el mundo con 313.7 TWh para 2019, muy por debajo de China (7326.7 TWh), USA (4161.8 TWh), India (1378.2 TWh), Rusia (1058.5 TWh) por nombrar algunos. Según datos de IEA la producción de electricidad en México depende principalmente del gas natural con 199,388 GWh, seguido del petróleo 34,210 GWh y del carbón 29,608GWh para 2019. Para la electricidad renovable en el mismo año, se tiene a la hidroenergía como la principal fuente con 24,086GWh, seguida de la eólica con 17,601 GWh,

solar fotovoltaica con 6,591GWh y geotérmica con 5,330GWh. La energía nuclear produjo 11,460GWh en el mismo año.

Pérdidas técnicas, se define como la energía térmica que se disipa al paso de la corriente eléctrica por un conductor, siendo este el efecto Joule, se originan al distribuir la energía eléctrica, por el calentamiento de los conductores eléctricos y transformadores. La magnitud de las pérdidas técnicas depende de las redes generales de distribución, cuyo diseño varía en el tiempo y por las tecnologías disponibles. Pérdidas no técnicas, son el resultado del uso ilícito de la energía eléctrica y en menor medida de ineficiencias en procesos administrativos.

En México, cada año se pierde más del 21% de la energía que se genera (Acosta, 2010). La falta de inversión en los sistemas de distribución y comercialización de energía eléctrica no sólo conduce al deterioro en la calidad del servicio, sino que también es uno de los principales factores en el aumento de las pérdidas de energía, tanto técnicas como no técnicas.

El aumento de las pérdidas no técnicas afecta a las empresas de distribución de energía. Por ejemplo, en el aspecto socioeconómico se afectan las inversiones futuras y puede llegar a la racionalización del uso de la energía. La falta de inversión en los sistemas de distribución y comercialización de energía eléctrica conduce no sólo al deterioro de la calidad del servicio que se presta, sino que es uno de los factores que más contribuyen al aumento de las pérdidas técnicas y no técnicas. A continuación, se muestra una figura (3.2) que ejemplifica las pérdidas no técnicas. En la cual se aprecia que el 30% pertenece a métodos utilizados; 15% a los materiales (en mal estado, obsoletos, etc.); 4% a maquinaria; 26% por el medio ambiente, refiriéndose a la parte social y 25% la mano de obra, errores humanos en los procedimientos.

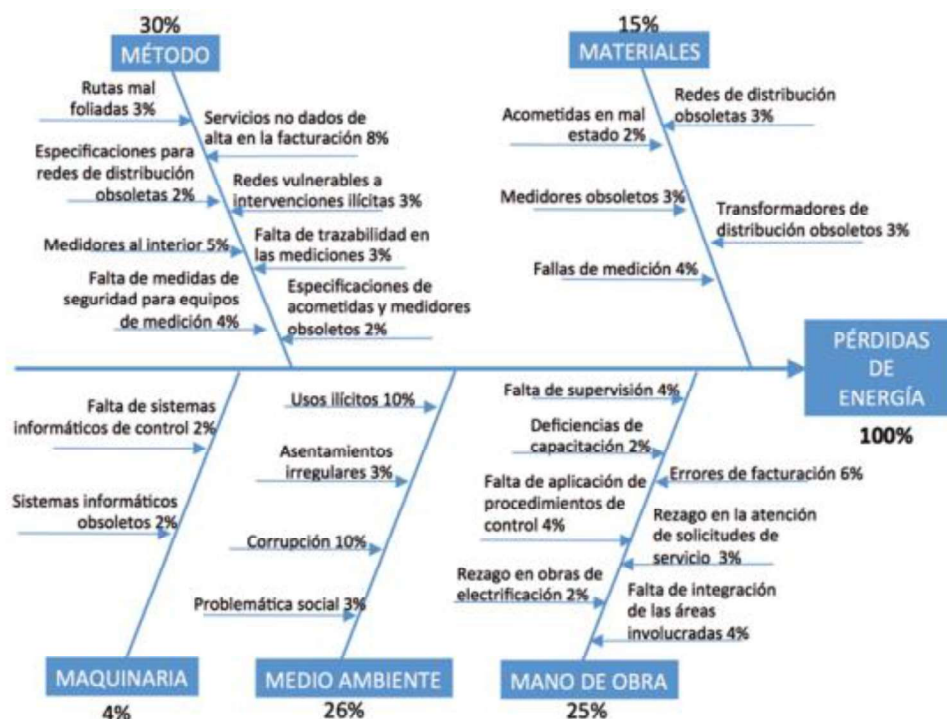


Figura 3.2 Causas de pérdidas no técnicas de la energía (Acosta, 2010)

Caracterización energética. Es un instrumento descriptivo que presenta las cifras del origen y destino de las fuentes primarias (Figura 3.3) y secundarias (Tabla 3.4) de la nación durante un año. Asimismo, incorpora información útil para el análisis de desempeño del sector energético, para el diseño de políticas públicas y para la toma de decisiones. La caracterización energética para su explicación puede dividirse en eficiencia, importación, consumo y exportación.

México cuenta con una variada matriz energética, que incluyen tecnologías convencionales que utilizan fuentes fósiles como petróleo, carbón y gas, al igual que energías renovables como hidroenergía, solar, eólica y geotérmica para la generación de energía eléctrica.

El grupo de tecnologías convencionales se integra por centrales que generan energía eléctrica a partir de combustibles fósiles como energético primario y no cuentan con equipo de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, este tipo de tecnologías contribuyen con el 18% de las emisiones totales de GEI a nivel nacional (SENER, 2018).

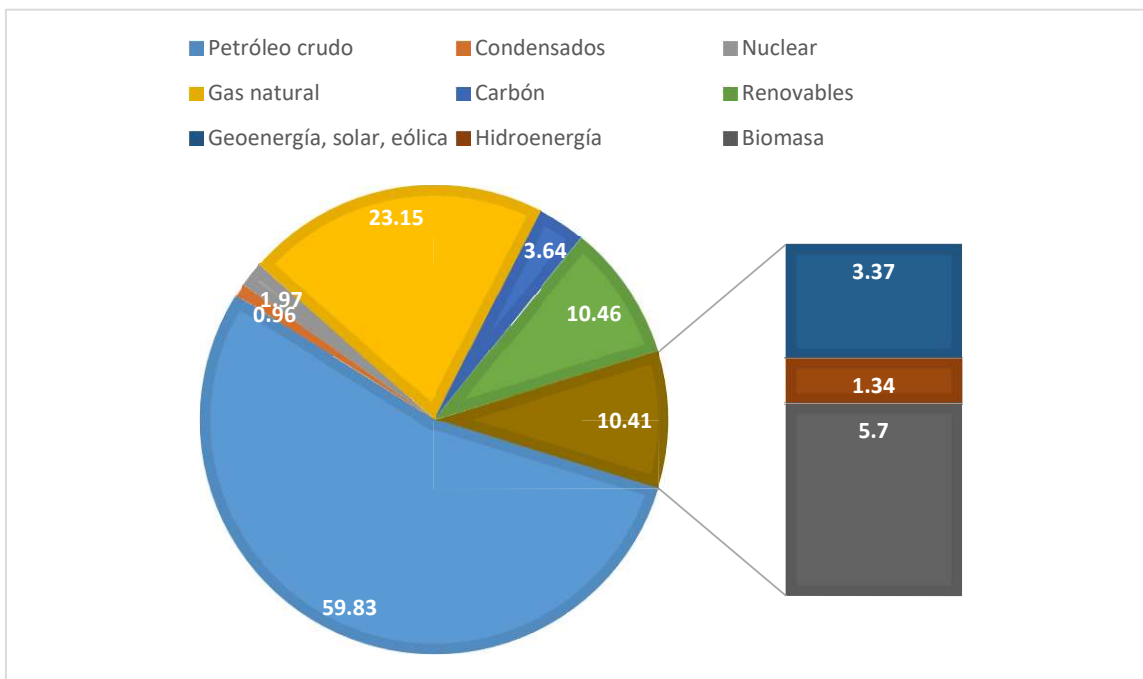


Figura 3.3 Estructura de la producción de energía primaria, valores representados en porcentaje.  
(Fuente: SENER, 2019)

	2018	2019	Variación porcentual (%) 2019/2018	Estructura porcentual (%) 2019
<b>Producción bruta</b>	3,948.91	3,702.00	-6.25	100
<b>Coquizadoras y hornos</b>	31.31	27.84	-11.08	0.75
<b>Coque de carbón</b>	31.31	26.28	-16.05	0.71
<b>Otros<sup>1</sup></b>	0	1.56	100	0.04
<b>Refinerías y despuntadoras</b>	1,353.75	1,205.66	-10.94	32.57
<b>Coque de petróleo</b>	27.23	40.53	48.85	1.09
<b>Gas licuado</b>	15.1	10.51	-30.43	0.28
<b>Gasolinas y naftas</b>	422.8	391.41	-7.42	10.57
<b>Querosenos</b>	76.79	60.9	-20.69	1.65
<b>Diésel</b>	267.06	219.89	-17.66	5.94
<b>Combustóleo</b>	432.94	354.18	-18.19	9.57
<b>Productos no energéticos</b>	48.45	36.17	-25.35	0.98

<b>Gas seco</b>	63.38	92.06	45.25	2.49
<b>Otros<sup>2</sup></b>	0	0	0	0
<b>Plantas de gas y fraccionadoras</b>	1,306.37	1,228.02	-6	33.17
<b>Gas licuado</b>	169.92	152.07	-10.51	4.11
<b>Gasolinas y naftas</b>	90.47	84.56	-6.53	2.28
<b>Querosenos</b>	0	0	0	0
<b>Combustóleo</b>	0	0	0	0
<b>Productos no energéticos</b>	90.45	82.52	-8.76	2.23
<b>Gas seco</b>	955.53	908.87	-4.88	24.55
<b>Otros<sup>2</sup></b>	0	0	0	0
<b>Electricidad</b>	1,257.48	1,240.49	-1.35	33.51
<b>Centrales eléctricas públicas</b>	616.22	542.41	-11.98	14.65
<b>Centrales eléctricas PIE</b>	319.45	339.96	6.42	9.18
<b>Centrales eléctricas autogeneración</b>	270.52	278.93	3.11	7.53
<b>Centrales eléctricas generadoras</b>	51.28	79.18	54.42	2.14

<sup>1</sup>Gas de alto horno y gas de coque, utilizados para autogenerar electricidad.

<sup>2</sup>Gasóleo utilizado para autogenerar electricidad

Tabla 3.4 Producción bruta de energías secundarias (Fuente: SENER, 2019)

Eficiencia, permite aprovechar de mejor manera los recursos energéticos, alcanzando ahorros económicos reflejados en el PIB. En la cual se incluye la intensidad energética, dada por la relación entre la oferta total de energía primaria y el PIB, se ha combinado con el PIB por uso de energía, con ello se expresa la eficiencia energética nacional, donde una alta tasa de intensidad energética o PIB por uso de energía presenta altos costos de sustitución de energía en PIB. Así, este indicador mide la cantidad de energía requerida para producir un peso del PIB.

Durante 2019, México tuvo un decremento de 4.56% respecto al 2018 en el indicador de intensidad energética, alcanzando los 476.02 KJ/\$ del PIB (Figura 3.4). Lo anterior fue



producto por el decremento de 4.61% en el consumo de energía y la desaceleración del PIB; reflejado en 0.05% de incremento con respecto al año anterior.

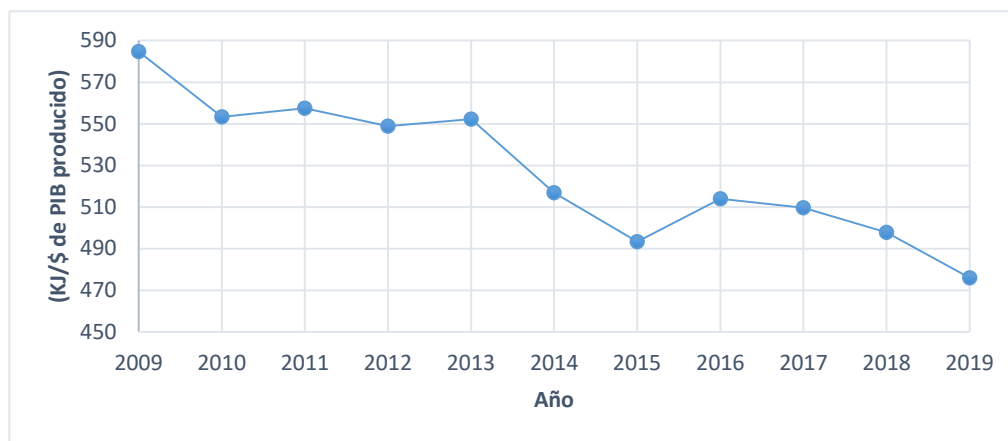


Figura 3.4 Intensidad energética nacional (Fuente: SENER, 2019)

Importación, es una variable dentro del contexto energético nacional, que se toma como parámetro del comercio exterior, dentro de ella se desagregan la importación de la energía y la oferta interna bruta. La importación expresa la vulnerabilidad de un país en no producir la energía que consume su población, en el caso de México, se importa más del 50% de la energía que se consume.

Al haber problemas con la importación de energía, es decir, cualquier interrupción en el flujo de dichas importaciones constituye en serio problema de seguridad energética. El país está obligado a desplegar y sostener esfuerzos extraordinarios para dar mayor flexibilidad al suministro interno y aumentar la producción propia de energía, dada la importancia de contar con seguridad energética en la matriz energética del país.

La seguridad energética es uno de los principales objetivos de la política energética. La Agencia Internacional de Energía la define como la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía. A continuación, se muestran las importaciones de energía hasta el 2019.

	2009	2011	2013	2015	2017	2019
<b>Total</b>	1,620.34	2,213.44	2,315.59	2,909.00	4,417.61	4,803.34
<b>Carbón</b>	173.82	219.49	216.97	223.23	301.22	275.15
<b>Petróleo crudo</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Coque</b>	5.59	9	9.98	109.12	171.72	149.52
<b>Coque de carbón</b>	5.52	8.91	9.89	18.58	31.53	32.33
<b>Coque de petróleo</b>	0.07	0.09	0.09	90.54	140.2	117.18
<b>Gas licuado</b>	124.12	126.42	119.61	158.4	224.87	233.63
<b>Gasolinas y naftas</b>	624.14	815.73	713.79	810.82	1,061.00	1,128.09
<b>Querosenos</b>	2.17	1.84	6.56	50.35	91.19	114.69
<b>Diésel</b>	99.08	287.89	223.44	339.4	559.82	572.06
<b>Combustóleo</b>	93.53	58.78	72.88	40.43	92.49	103.14
<b>Productos no energéticos</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Gas seco</b>	496.51	691.91	946.41	1,168.46	1,906.90	2,213.00
<b>Electricidad</b>	1.39	2.36	5.94	8.79	8.39	14.07

Tabla 3.5 Importación de energía (Fuente: SENER, 2019)

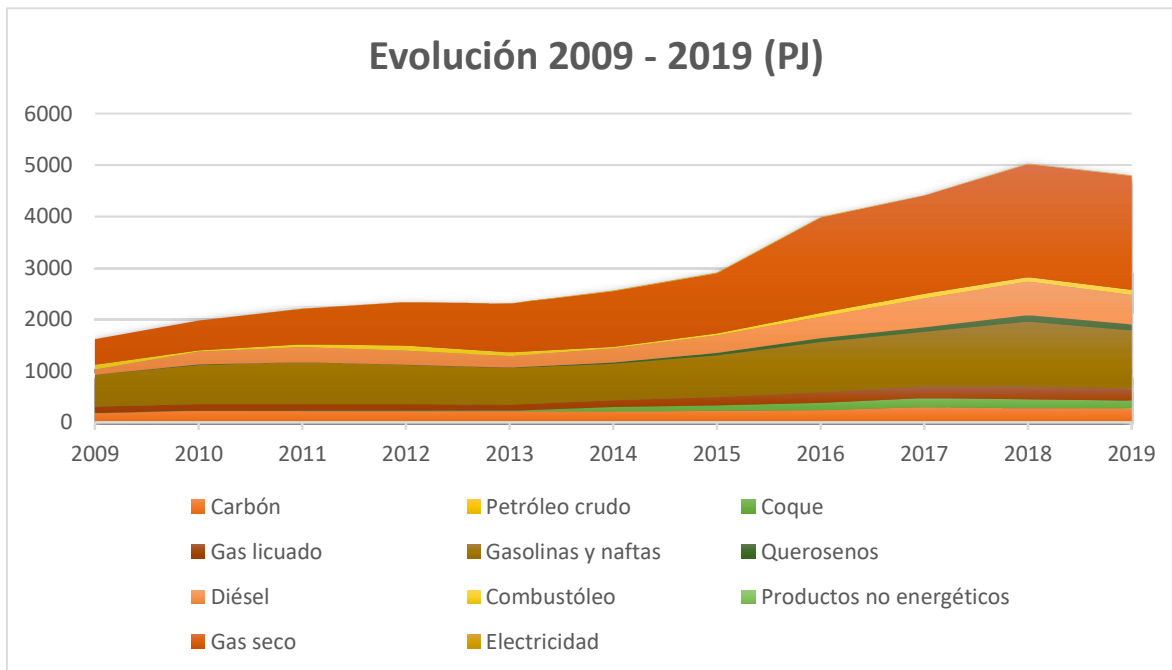


Figura 3.5 Importación de energía (Fuente: SENER, 2019)

Mientras que la oferta interna bruta o consumo nacional de energía, está compuesto de la producción, importación, variación de inventarios, exportación y energía no aprovechada. Esta variable refleja los centros de transformación del país (coquizadoras, refinerías y despuntadoras, plantas de gas y fraccionadoras, centrales eléctricas, termoeléctricas, nucleoelectricas, hidroeléctricas, geotermoeléctricas, y eoloeléctricas), también se encuentra englobada la energía primaria y secundaria que el sector energético utiliza para el funcionamiento de sus instalaciones.

En el caso del sector eléctrico se incluyen los autoconsumos en generación, transmisión y distribución. Por último, incluye las pérdidas por transporte, distribución y almacenamiento, éstas son mermas de energía que ocurren durante la serie de actividades que se dan desde la producción hasta el consumo final de la energía.

El volumen de la oferta interna bruta a nivel mundial durante 2018 alcanzó los 14.277.15 MMtep, 1.21% más que en 2017. Las energías renovables alcanzaron una participación de 13.90% (Figura 3.6) en este rubro; por otro lado, el carbón y sus derivados aumentaron 1.27% su magnitud, respecto al año anterior.

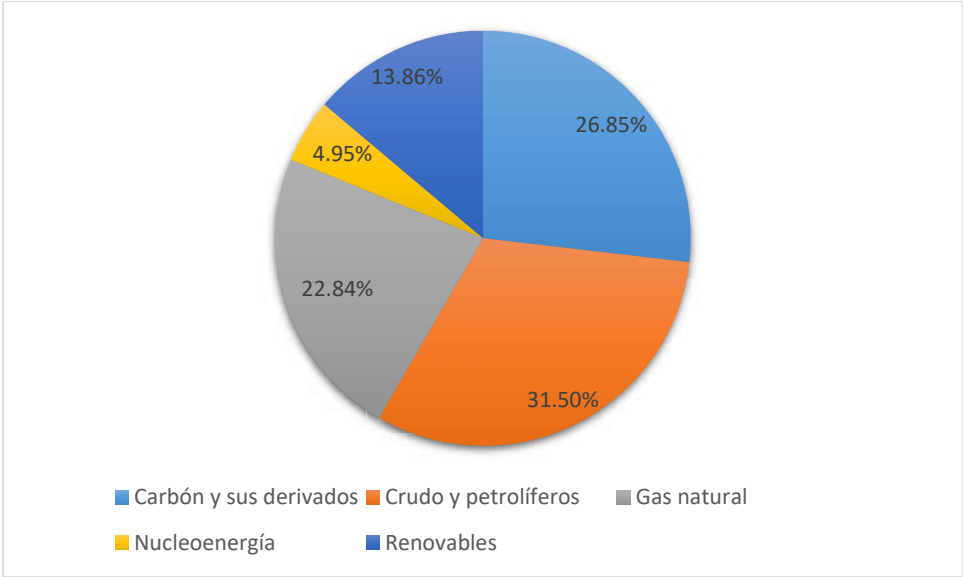


Figura 3.6 Oferta interna bruta de energía (Fuente: SENER, 2019)

Consumo, éste es un indicador nacional que provee elementos para el análisis del sector energético dentro del contexto socioeconómico, en él se encuentran: el consumo de energía eléctrica, consumo de energía per cápita, consumo energético y consumo nacional de energía.

Durante 2019, el consumo nacional de energía disminuyó 4.61% respecto al año anterior, al finalizar con 8,811.06 PJ. Este flujo se refiere a la energía que se envía a las distintas actividades o procesos para su utilización, en el sector energético y en el consumo final total. Como lo podemos ver en la siguiente figura.

	2018	2019	Variación porcentual (%) 2019/2018	Estructura porcentual (%) 2019
<b>Consumo nacional</b>	9,236.86	8,811.06	-4.61	100
<b>Consumo sector energético</b>	3,173.87	3,287.55	3.58	37.31
<b>Consumo transformación</b>	1,786.75	1,942.60	8.72	22.05
<b>Consumo propio</b>	1,182.85	1,146.58	-3.07	13.01
<b>Pérdidas por distribución</b>	204.27	198.38	-2.88	2.25
<b>Consumo final total</b>	5,393.45	4,851.57	-10.05	55.06
<b>Consumo no energético</b>	109.74	90.59	-17.45	1.03
<b>Consumo energético</b>	5,283.70	4,760.98	-9.89	54.03
<b>Recirculaciones y Diferencia estadística</b>	669.54	671.93	0.36	7.63

Tabla 3.6 Consumo nacional de energía (SENER, 2019)

El consumo de energía eléctrica es la cantidad de energía utilizada en un punto de suministro durante un periodo de tiempo determinado. El consumo de energía per cápita es el promedio de energía primaria por habitante, mientras que el consumo energético es el gasto total de la energía. Con los datos mostrados anteriormente se entiende que el mayor porcentaje de energía se obtiene de energías de origen fósil, esto provoca grandes problemas como el agotamiento de reservas, dependencia energética, dificultad de abastecimiento y contaminación ambiental, reflejándose como impacto en el medio ambiente.

Exportación, es un parámetro del comercio exterior, que brinda información del contexto energético nacional, en él se encuentra la variable de exportación de energía primaria, que a diferencia de la importación expresa la riqueza energética del país, para el caso de México es de 32.8% de la oferta interna bruta. Las exportaciones contribuyen al desarrollo económico de un país gracias a la generación de divisas y empleos que estas aportan a la economía nacional del país. La siguiente tabla muestra las exportaciones hasta el año 2019.

	2009	2011	2013	2015	2017	2019
<b>Total</b>	3,381.60	3,558.45	3,183.62	3,105.58	2,974.89	2,747.44
<b>Carbón</b>	1.23	7.1	0.14	0.08	0.08	0.13
<b>Petróleo crudo</b>	2,876.40	3,128.69	2,744.45	2,631.49	2,609.26	2,465.32
<b>Condensados</b>	0	1.28	12.01	2.66	0	0
<b>Coque</b>	3.06	0.11	20.58	0	0.09	0.1
<b>Coque de carbón</b>	0.01	0.05	0.02	0	0.07	0.01
<b>Coque de petróleo</b>	3.05	0.05	20.56	0	0.03	0.09
<b>Gas licuado</b>	1.68	2.28	0.27	0.03	8.6	1.4
<b>Gasolinas y naftas</b>	132.89	141.23	124.8	118.81	84.74	64.68
<b>Querosenos</b>	8.44	-3.58	0	0	0	0
<b>Diésel</b>	9.95	10.14	19.28	15.71	0	27.13
<b>Combustóleo</b>	289.31	236.99	221.48	295.47	242.11	168.52
<b>Productos no energéticos</b>	4.79	2.74	9.31	2.71	0.16	0
<b>Gas seco</b>	25.62	9.23	4.84	4.94	1.5	1.4
<b>Electricidad</b>	28.22	22.25	26.48	33.67	28.35	18.76

Tabla 3.6 Exportación de energía (Fuente: SENER, 2019)

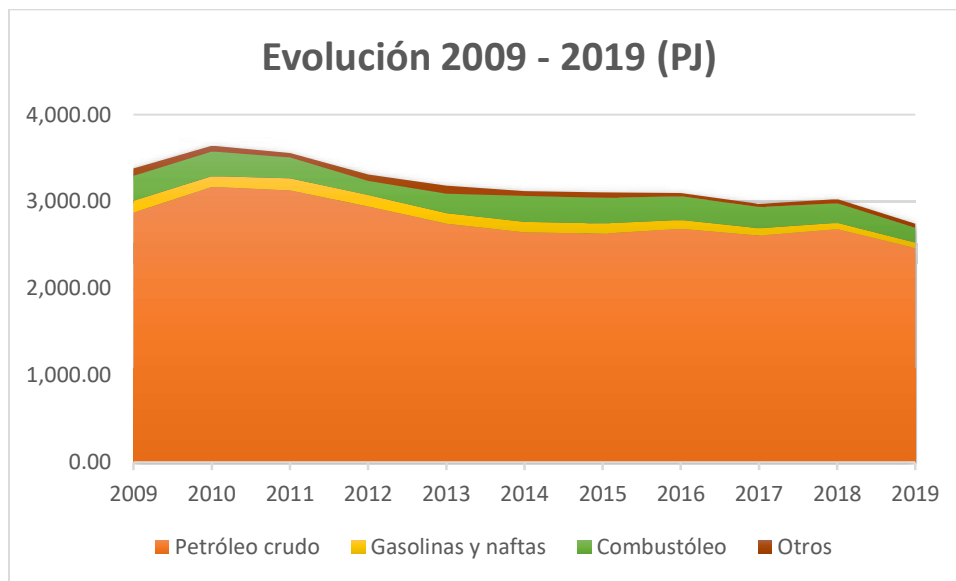


Figura 3.7 Exportación de energía (Fuente: SENER, 2019)

Energía Renovable. Las energías renovables son recursos abundantes y limpios que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones dañinas para el medio ambiente como las emisiones de CO<sub>2</sub>, algo que sí ocurre con las energías no renovables como son los combustibles fósiles. De ella se pueden desagregar consumo de energía renovable, nucleenergía y consumo de energía de combustibles fósiles. Dentro de las renovables se engloba: hidroenergía, geoenergía, solar, energía eólica, biogás y biomasa. En la nucleenergía se encuentra el uranio y en la energía de combustibles fósiles se encuentra el carbón y los hidrocarburos.

Como ya mencioné anteriormente, las energías renovables alcanzaron una participación de 13.90% de la oferta interna bruta de energía al año 2019, mientras que para el 2018, las fuentes renovables tenían una participación desagregada de la siguiente forma: la solar (58.20%) y la eólica (23.2%); la geoenergía (11.2%), el biogás (12.9%), el bagazo de caña (4.3%), la hidroenergía (2.0%), y la leña (0.5%).

La otra dimensión es la caracterización del país, que dista de las variables del índice GEVI, pero que los subpilares se han utilizado en otro tipo de análisis de vulnerabilidad como lo fue en Gupta, 2008. En general son variables socioeconómicas, se califica como socioeconómico

a aquello vinculado a elementos sociales y económicos. Por ello, para esta dimensión se incluyen los pilares de PIB nacional y densidad poblacional. El PIB es el valor total de los bienes y servicios finales producidos por un país, durante un año. Expresa la riqueza del país. Un país con alto PIB no asegura que combata la vulnerabilidad, pero si la capacidad de gestionar las incidencias que se presenten, mientras que la densidad poblacional es un indicador que nos permite saber cuánta población habita en un territorio. Aporta contexto a la robustez y la topología del sistema energético.

Finalmente, la caracterización de eventos críticos. Está sustentada en indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgo del Banco Interamericano de Desarrollo, donde se tratan índices de déficit por desastre, de gestión de riesgo e identificación de riesgos. Es la medición del desempeño o desarrollo de la gestión del riesgo. Es una medición cualitativa de la gestión con base en unos niveles preestablecidos o referentes deseables hacia los cuales se debe dirigir la gestión del riesgo, según sea su grado de avance.

Sustentado en esta base, recabe datos sobre los tres fenómenos naturales que afectan el sistema energético, los cuales fueron sismos, huracanes y lluvias. En materia de sismos tome los existentes mayor a 6 grados Richter (Tabla 3.7) por el movimiento del suelo que puede generar, y con ello la afectación al sistema; los huracanes, el número de huracanes por año (Tabla 3.8) y la precipitación de lluvias a nivel nacional (Tabla 3.9).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sismos	1	4	5	12	4	8	3	7	4	3	2

Tabla 3.7 Cantidad de sismos en México mayor a 6 grados en la escala Richter (Fuente: CENAPRED)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Pacífico	7	3	10	10	8	14	13	11	9	12	7
Atlántico	3	12	6	10	2	6	4	7	10	8	6
Total	10	15	16	20	10	20	17	18	19	20	13

Tabla 3.8 Cantidad de Huracanes en México (Fuente: CENAPRED)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
mm	723.4	962.1	697.2	742.3	920.5	830.8	872	744	781.6	803.7	718.3

Tabla 3.9 Precipitación a Nivel Nacional (Fuente: CENAPRED)

De acuerdo a todos los datos presentados y con las variables ya explicadas, el proceso consiste en normalizar los valores en el intervalo de año del 2009 al 2019, indicando que el 0 es una alta vulnerabilidad y el 1 una baja vulnerabilidad, acomodando las variables de tal forma que cada variable indique lo requerido para el análisis.

- 1) Se recopila información del año 2009 al año 2019 para cada una de las variables.

Variables
Independencia energética
Intensidad energética
Importación de la energía
Oferta interna bruta
Consumo de energía per cápita
Consumo energético
Exportación de energía primaria
Consumo de energía renovable
Nucleoenergía
Consumo de energía de combustibles fósiles
Acceso a la electricidad
PIB Nacional
Densidad Poblacional
Sismos
Huracanes
Lluvias

- 2) Se obtiene el máximo valor por año



3) Se divide cada valor entre el máximo

De esta forma se obtienen los datos normalizados para trabajar, en el caso de la comparación con otros países, primero se divide el valor de cada variable entre el área de cada país y después se realiza el mismo proceso, en el siguiente capítulo se muestran los radares obtenidos con las variables elegidas y se da una explicación de ellos, además, se completa con los mapas creados.

## CAPÍTULO 4

### 4. Resultados

La caracterización de la vulnerabilidad energética en México fue realizada con 16 variables, de las cuales 10 corresponden al análisis energético, 3 al país y 3 a los eventos críticos.

Caracterización energética: independencia energética, intensidad energética, importación de la energía, oferta interna bruta, consumo de energía per cápita, consumo energético, exportación de energía primaria, consumo de energía renovable, nucleenergía y consumo de energía de combustibles fósiles.

Caracterización del país: acceso a la electricidad, PIB Nacional y densidad poblacional.

Caracterización de eventos críticos: sismos, huracanes y lluvias.

Estos tres grandes bloques están basados en la definición de vulnerabilidad energética que estoy proponiendo para el análisis de VE enfocada a los sistemas energéticos. La vulnerabilidad energética a escala de sistemas se define mediante un conjunto de variables multidimensionales que determinan el grado al cual un sistema energético deja de ser capaz de enfrentar eventos críticos, que deben de entenderse como fenómenos naturales que afectan al sistema energético, afectando el suministro de energía de un país.

A continuación, muestra la tabla general con los valores normalizados (Tabla 4.1), truncados con 8 decimales en el caso de existir una mayor cantidad de decimales. Obtenidos en la recopilación de la información, cabe mencionar, que los datos fueron obtenidos de la Secretaría de Energía, Comisión Federal de Electricidad, Instituto Nacional de Estadística y Geografía y del Centro Nacional de Prevención de Desastres.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Independencia energética	0.68722525	0.62747403	0.58195891	0.56278728	0.56249523	0.54186128	0.49252621	0.31483242	0.25141438	0.11838248	0.06665265
Intensidad energética	1	0.94626431	0.9533545	0.9386491	0.94435067	0.88407544	0.84387885	0.87888691	0.87163596	0.85147524	0.81405077
Importación de la energía	0.678005	0.60651525	0.56014379	0.53370203	0.53984448	0.49107844	0.42192167	0.2062601	0.12212973	0	0.04547722
Oferta interna bruta	0.8989609	0.89419147	0.93389191	0.95297806	0.97174885	0.93523541	0.9220651	0.98814562	1	0.99860666	0.95257264
Consumo de energía per cápita	0.97053439	0.95352942	0.9835746	0.9919256	1	0.95183024	0.92839737	0.98461518	0.98639339	0.97538166	0.92161383
Consumo energético	0.84752425	0.87732574	0.91310915	0.9107354	0.91828926	0.91244532	0.94908089	0.98937872	1	0.98524657	0.88777546
Exportación de energía primaria	0.93	1.00	0.98	0.91	0.87	0.86	0.85	0.85	0.82	0.83	0.75
Consumo de energía renovable	0.60	0.65	0.65	0.65	0.66	0.71	0.74	0.81	0.91	1.00	1.00
Nucleoenergía	0.48962656	0.28630705	0.47717842	0.41493776	0.56431535	0.47302905	0.60580913	0.593361	0.66804979	1	0.81742739
Consumo de energía de combustibles fósiles	0	0.00043243	0.00540541	0.00313514	0.00875676	0.01167568	0.01837838	0.02616216	0.0387027	0.05751351	0.0532973
Acceso a la electricidad	0.97917088	0.98685541	0.98978766	0.99201213	0.99322548	0.99524772	0.99625885	0.99676441	0.99737108	0.99777553	1
PIB Nacional	0.86206457	0.89334466	0.91293543	0.93430331	0.93498301	0.94848485	0.96733928	0.97982158	0.98916737	1	0.98836732
Densidad Poblacional	0.890625	0.90625	0.921875	0.9375	0.9375	0.953125	0.96875	0.96875	0.984375	1	1
Sismos	0.91666667	0.66666667	0.58333333	0	0.66666667	0.33333333	0.75	0.41666667	0.66666667	0.75	0.83333333
Huracanes	0.5	0.25	0.2	0	0.5	0	0.15	0.1	0.05	0	0.35
Lluvias	0.24810311	0	0.2753352	0.22845858	0.04323875	0.1364723	0.09364931	0.22669161	0.18761044	0.16463985	0.25340401

Tabla 4.1 Tabla general de datos normalizados.

Todos los datos de la tabla anterior pertenecen a México, pero para tener un punto de partida de comparación realicé una búsqueda similar en cuatro países más, reportados en el GEVI, dos con valores de vulnerabilidad energética baja (Colombia y Noruega) y dos con vulnerabilidad energética alta (Islandia y Bahrein). Cabe resaltar, que los datos a continuación mostrados de los cuatro países, sólo han sido normalizados para su representación, los valores representan los números publicados por sus organismos gubernamentales.

En cada país encontré diferentes variables de la tabla general (Tabla 4.1), pero entre los cinco países incluidos México, sólo fueron cuatro las similares: importación de energía, oferta interna bruta, consumo energético y densidad poblacional. A continuación, muestro las tablas de datos normalizados para cada uno de los países con su perfil correspondiente.

	2009	2011	2013	2015	2017	2019
<b>Importación de la energía</b>	0.004	0.004	0.002	0.017	0.996	1.000
<b>Oferta interna bruta</b>	0.861	0.846	0.856	0.828	0.933	1.000
<b>Consumo energético</b>	1.000	0.562	0.520	0.452	0.448	0.475
<b>Densidad Poblacional</b>	0.889	0.907	0.924	0.944	0.972	1.000

Tabla 4.2 Valores de Colombia.

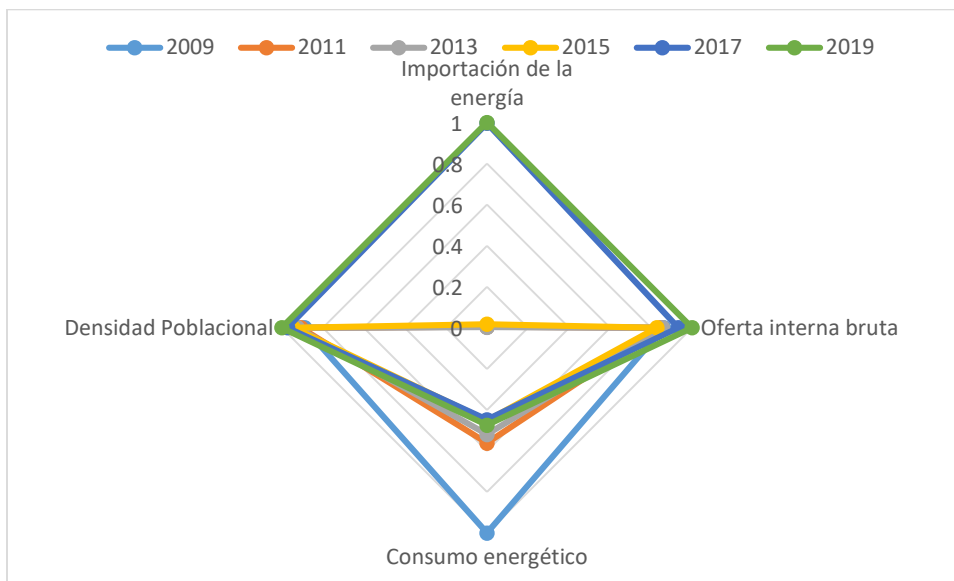


Figura 4.1 Colombia

	2009	2011	2013	2015	2017	2019
<b>Importación de la energía</b>	1.000	0.902	0.865	0.951	0.998	0.891
<b>Oferta interna bruta</b>	1.000	0.907	0.895	0.954	0.989	0.888
<b>Consumo energético</b>	0.935	0.959	0.966	0.953	0.960	0.964
<b>Densidad Poblacional</b>	0.898	0.920	0.945	0.967	0.985	1.000

Tabla 4.3 Valores de Noruega.

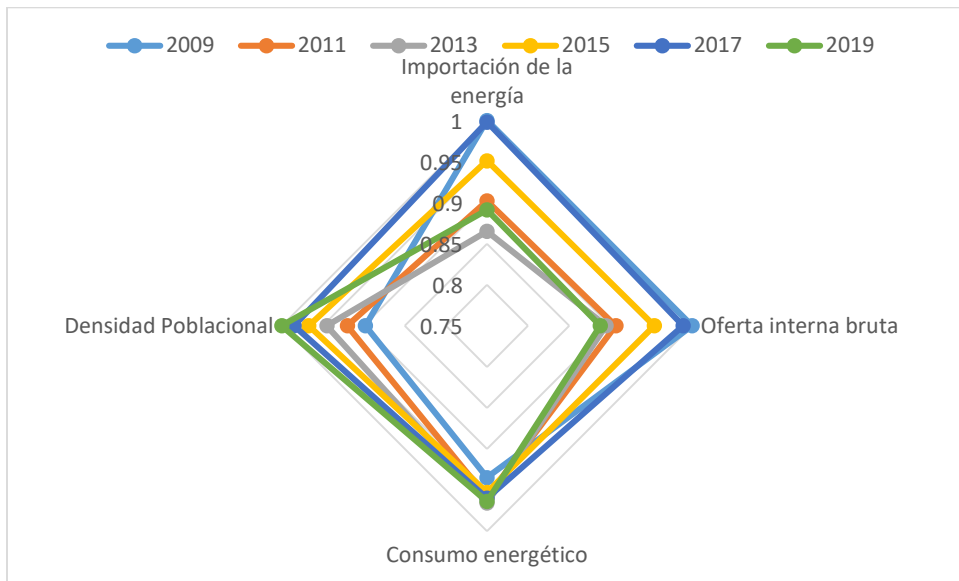


Figura 4.2 Noruega

	2009	2011	2013	2015	2017	2019
<b>Importación de la energía</b>	0.675	0.637	0.652	0.763	0.881	0.816
<b>Oferta interna bruta</b>	0.859	0.851	0.924	0.888	0.916	0.970
<b>Consumo energético</b>	0.845	0.839	0.885	0.926	0.941	0.975
<b>Densidad Poblacional</b>	0.933	0.954	0.967	0.976	0.988	1.000

Tabla 4.4 Valores de Islandia.

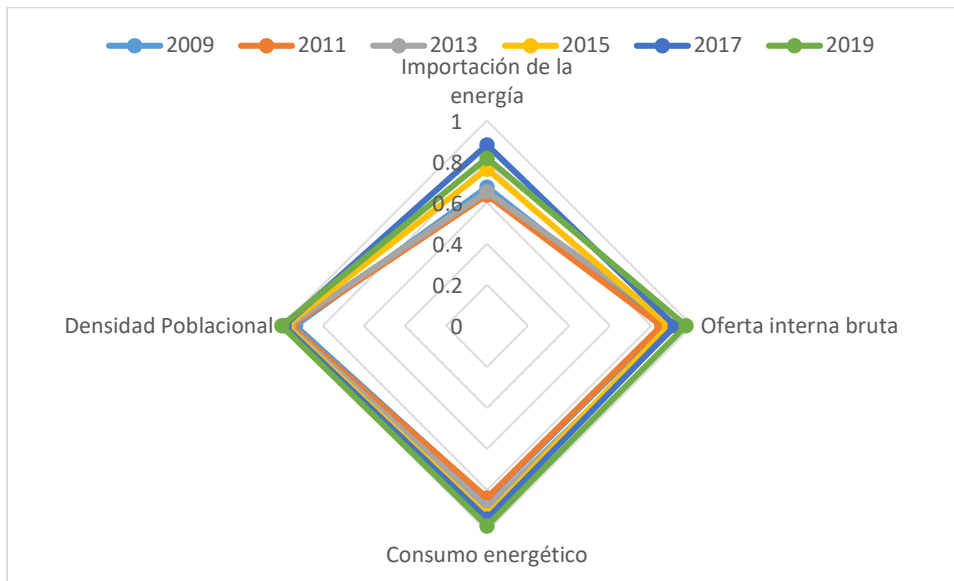


Figura 4.3 Islandia

	2009	2011	2013	2015	2017	2019
<b>Importación de la energía</b>	0.759	0.836	0.863	0.923	0.909	0.928
<b>Oferta interna bruta</b>	0.820	0.861	0.918	0.949	0.934	1.000
<b>Consumo energético</b>	0.685	0.731	0.832	0.890	0.897	1.000
<b>Densidad Poblacional</b>	0.804	0.809	0.844	0.914	0.998	0.988

Tabla 4.5 Valores de Bahreín

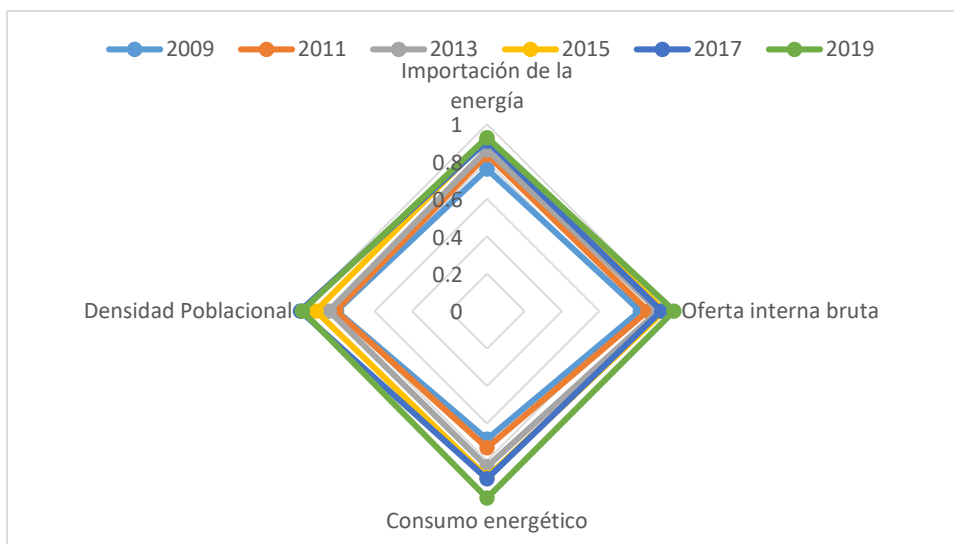


Figura 4.4 Bahreín

Para poder hacer una comparación entre Colombia, Noruega, Islandia y Bahreín con México, se realizó el cociente de los datos con el polígono. Obteniendo el siguiente perfil, tomando como año base el 2017. Y se toma este año por ser el punto de comparación con el GEVI. Estos datos están redondeados a cuatro decimales para una lectura fácil que además no afecta lo que cada una de las variables representan.

	<b>COLOMBIA</b>	<b>NORUEGA</b>	<b>MEXICO</b>	<b>ISLANDIA</b>	<b>BAHREIN</b>
<b>Importación de la energía</b>	0.9961	0.9976	0.8779	0.8815	0.9089
<b>Oferta interna bruta</b>	0.9330	0.9892	1.0000	0.9158	0.9340
<b>Consumo energético</b>	0.4479	0.9597	1.0000	0.9410	0.8972
<b>Densidad Poblacional</b>	0.9716	0.9850	0.9844	0.9878	0.9984

Tabla 4.6 Valores entre países



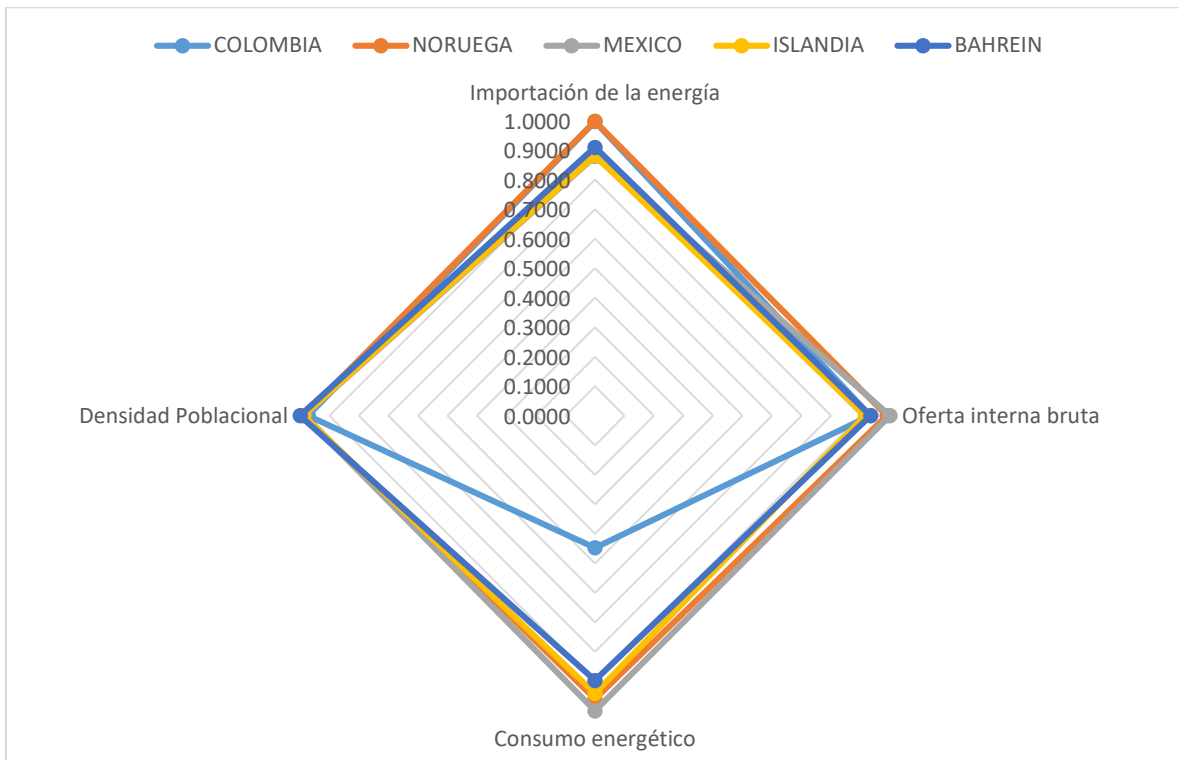


Figura 4.5 Países

Se puede apreciar en este perfil donde se concentra los cinco países las relaciones existentes entre ellos con cada una de las cuatro variables que se están reflejando. En el caso particular de México se obtuvo un perfil general con todas las variables para todo el intervalo de años y para años pares e impares, para una mejor visualización, que se muestran en las siguientes figuras.

Además, muestro los perfiles por cada uno de los bloques trabajados, caracterización energética, caracterización del país y caracterización de los eventos críticos.

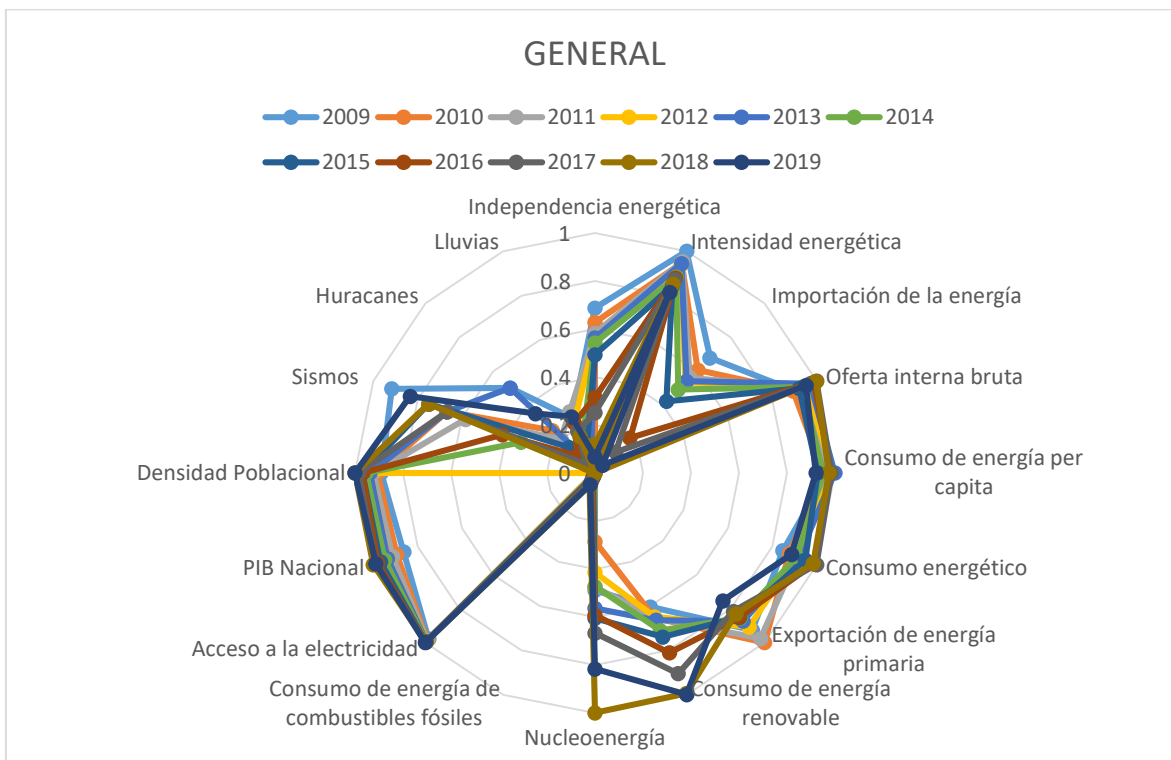


Figura 4.6 Perfil General

En la figura 4.6 se aprecia el perfil general por años, del 2009 al 2019. Los valores cercanos a cero o cero, denotan una alta vulnerabilidad energética, mientras que los valores que se aproximan a uno, denotan una baja vulnerabilidad energética. Analizando las variables se aprecia qué intensidad energética, importación de la energía e independencia energética año con año han ido en retroceso, incrementando su vulnerabilidad. Por otro lado, densidad poblacional, PIB Nacional, acceso a la electricidad, consumo de energía de combustibles fósiles y consumo de energía renovable han ido en disminución de la VE. Mientras que el resto de variables han fluctuado en el intervalo de tiempo, oferta interna bruta, consumo de energía per cápita, consumo energético y exportación de energía primaria. El caso de la nucleoenergía se aprecia la tendencia al alza, pero en el último año (2019), de éste análisis los valores cayeron. Para sismos, lluvias y huracanes que pertenecen al bloque de fenómenos naturales los valores son fluctuantes por la naturaleza de dichas variables.

A continuación, se muestran los mismos gráficos desagregados para una mejor visualización de los datos.

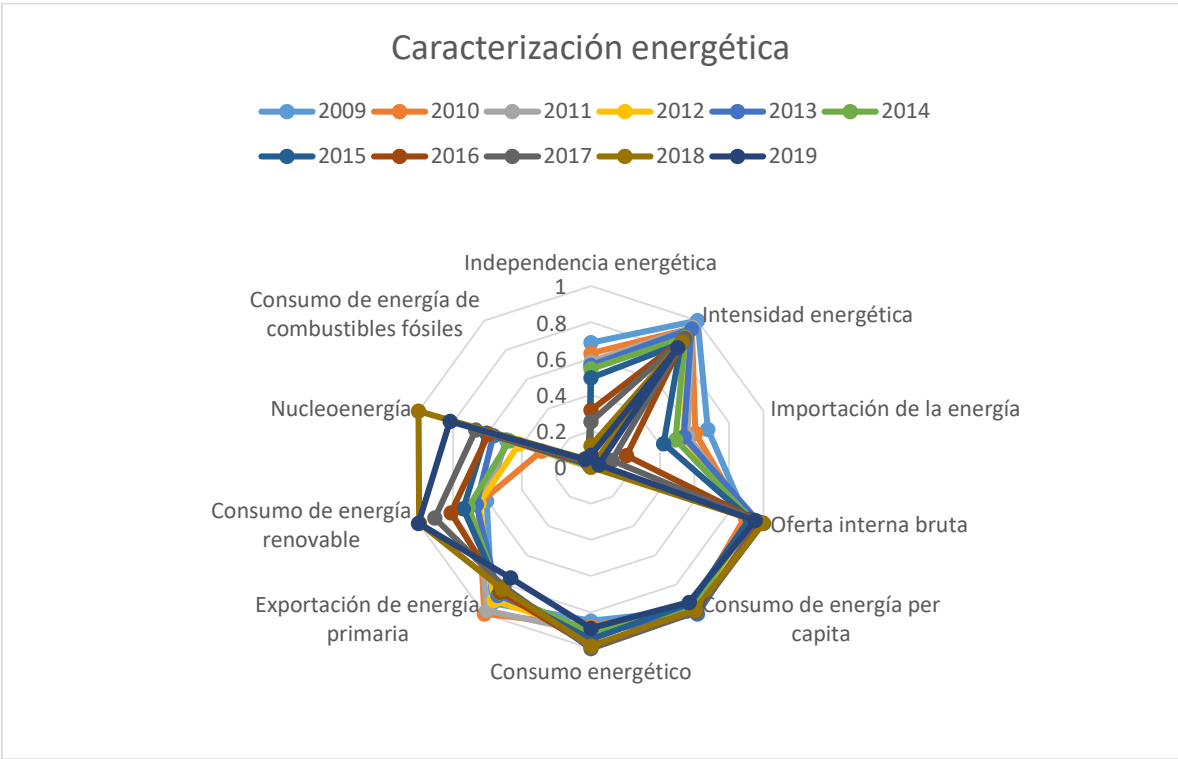


Figura 4.7 Perfil general de caracterización energética

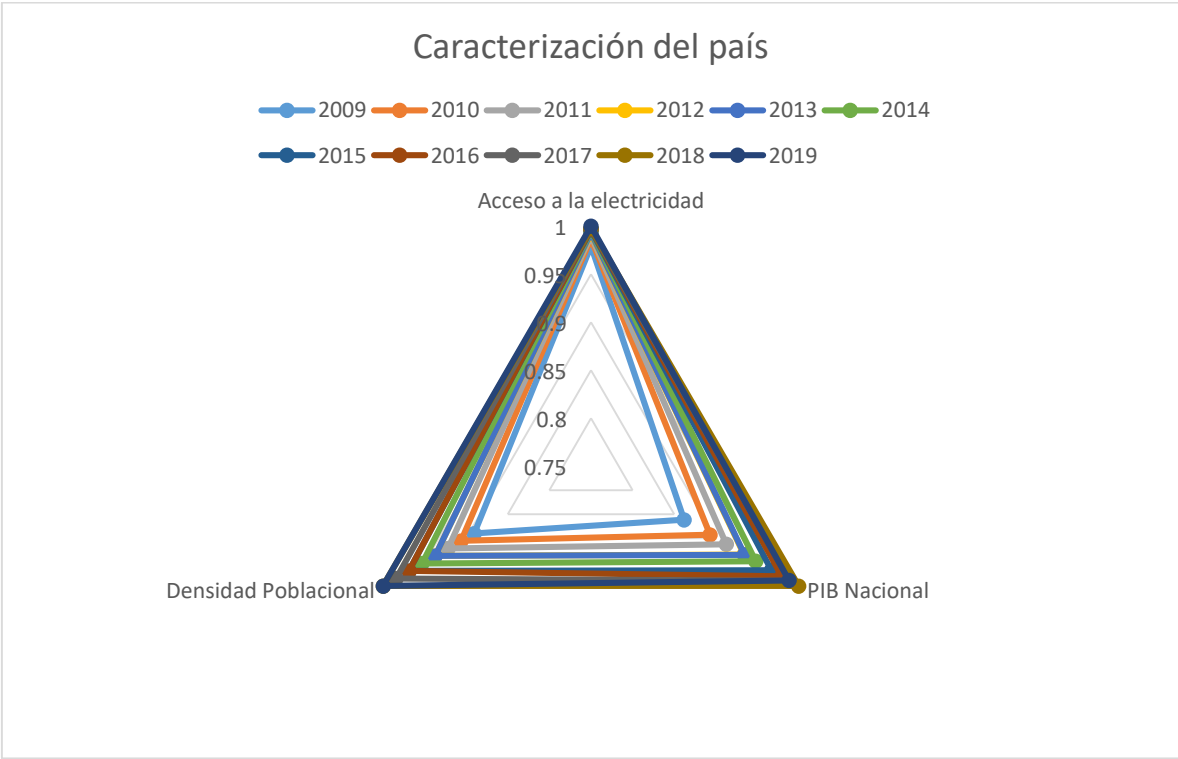


Figura 4.8 Perfil general de caracterización del país



Figura 4.9 Perfil general de caracterización de eventos críticos

En las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se visualizan los datos en el mismo intervalo de tiempo del 2009 al 2019, con la ventaja de que están separados por bloques. Los tres grandes bloques que se desagregaron de la definición de vulnerabilidad energética propuesta y con los que se ha creado este trabajo de tesis. En la figura 4.7 se encuentra toda la información referente al sistema energético, en la figura 4.8 las tres variables que caracterizan al país con el enfoque de VE que se ha escogido para este trabajo y finalmente la figura 4.9 muestra los tres eventos críticos elegidos para la representación de los fenómenos naturales que afectan al sistema energético.

Los siguientes radares permiten visualizar los años pares e impares del lapso de tiempo mostrado en los radares anteriores, esto es una ventaja apreciar los gráficos de una forma ligera, que no estén cargados de líneas.

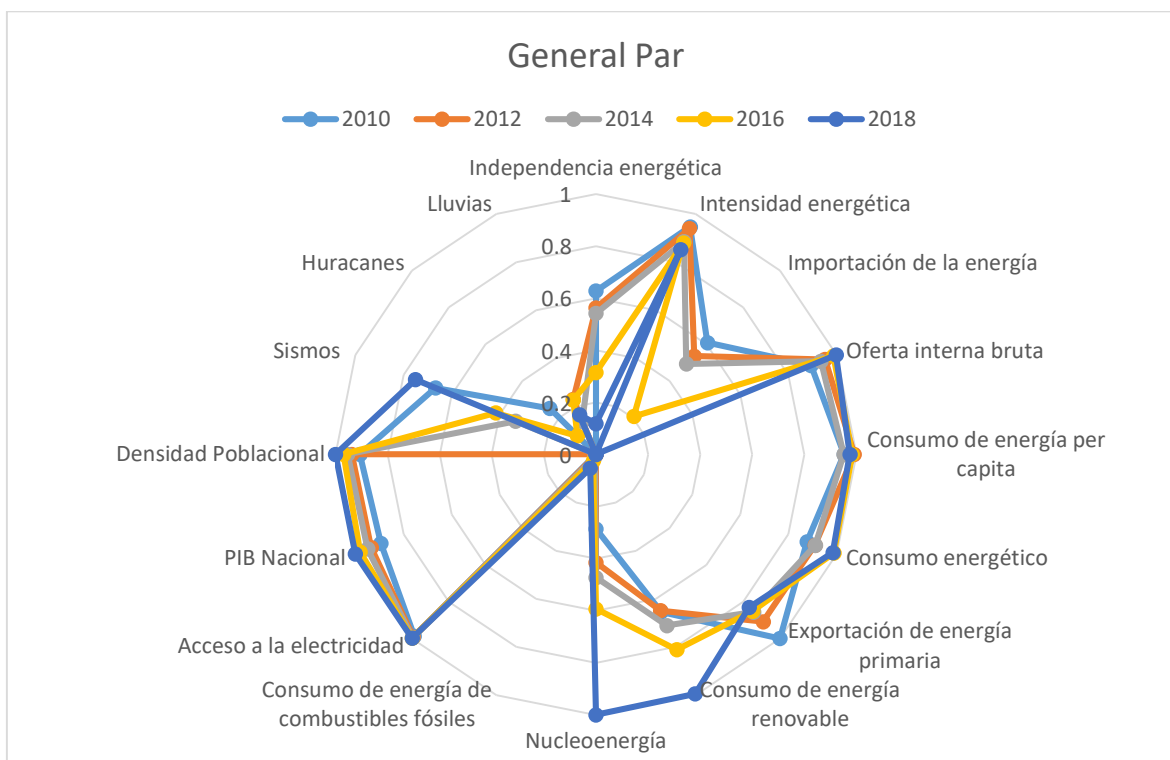


Figura 4.10 Perfil general años par

En la figura 4.10 de años pares, se encuentra el intervalo de tiempo del año 2010 al 2018. Al contar con sólo 5 líneas la apreciación de la evolución de las variables a lo largo de los años es más sencilla. En primera, las variables que llevan el comportamiento deseado avanzando hacia un nivel bajo de vulnerabilidad energética son: PIB Nacional, acceso a la electricidad, consumo de energías renovables, consumo de energías de combustibles fósiles, oferta interna bruta, nucleoenergía y consumo energético. El señalar es esta categoría a éstas seis variables no era tan sencillo en el esquema general, por la gran cantidad de líneas.

Por otro lado, las variables de intensidad energética, importación de la energía y exportación de energía primaria están señalando un retroceso. Esto ha sido ocasionado por la dependencia del país a combustibles de origen extranjero. Mientras que las variables restantes fluctúan en el tiempo por ser variables dependientes de la naturaleza.

A continuación, se muestran los mismos gráficos desagregados para una mejor visualización de los datos.

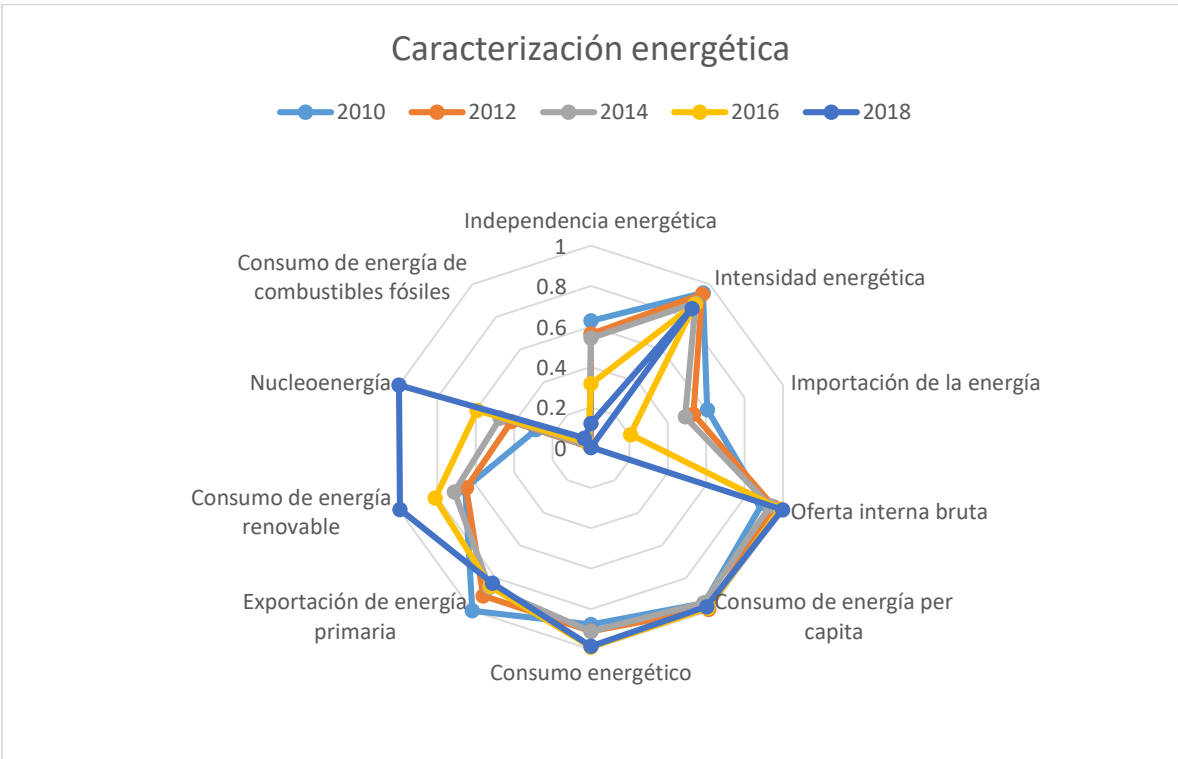


Figura 4.11 Perfil general años par de caracterización energética

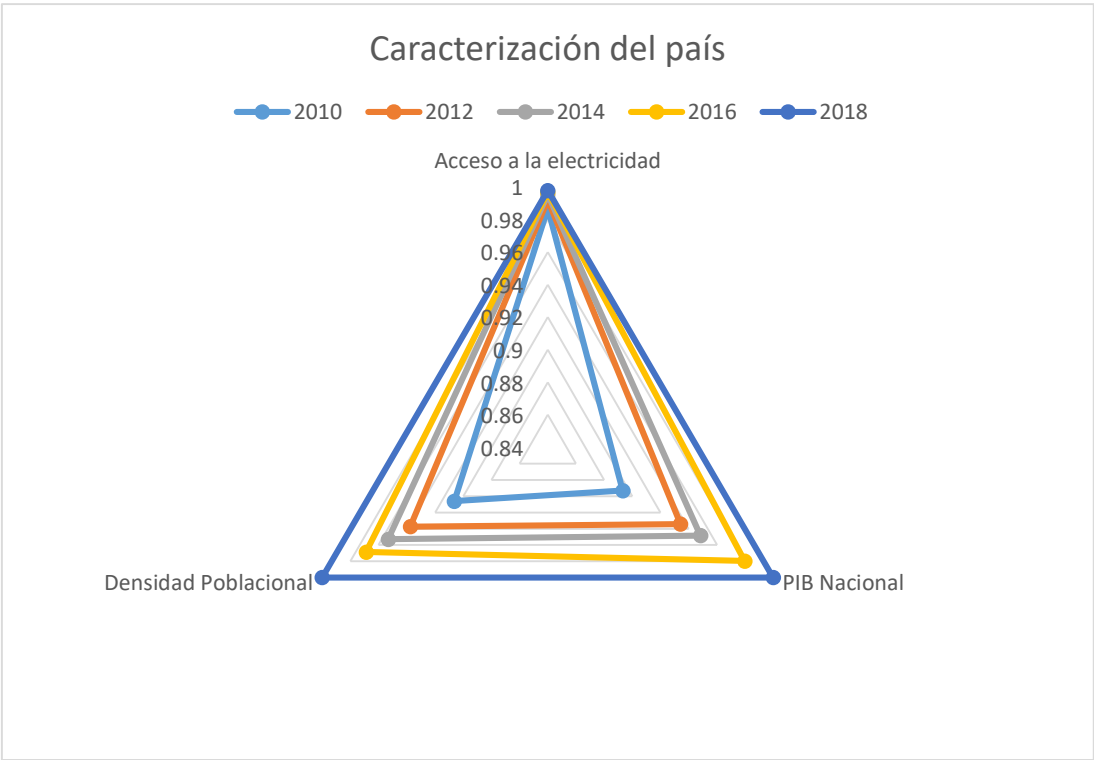


Figura 4.12 Perfil general años par de caracterización del país



Figura 4.13 Perfil general años par de caracterización de eventos críticos

En las figuras 4.11, 4.12 y 4.13 se visualizan los datos (años pares) en el mismo intervalo de tiempo del 2010 al 2018, con la ventaja de que están separados por bloques. Para la figura 4.11 podemos notar para el año 2018, el más actual en este intervalo de tiempo, las variables oferta interna bruta, consumo energético, consumo de energía renovable y nucleenergía se representan con un valor de uno, esto no significa que su vulnerabilidad energética sea inexistente, lo que nos representa es que para el año 2018 el valor es el mejor en relación a los años pasados, y al momento de haber realizado la normalización este valor ocupó la mejor posición.

Para la figura 4.12, se puede apreciar una relación idónea en el crecimiento de las variables, ya que el país ha logrado que cada año mayor población tenga acceso a la electricidad, y que la densidad poblacional crezca en búsqueda de garantizar su acceso a las energías, además, de que el PIB va en aumento, por ende, se visualizan buenas condiciones de vida para la nación. Y finalmente la figura 4.13, muestra los eventos críticos que ha enfrentado el país en el intervalo analizado.

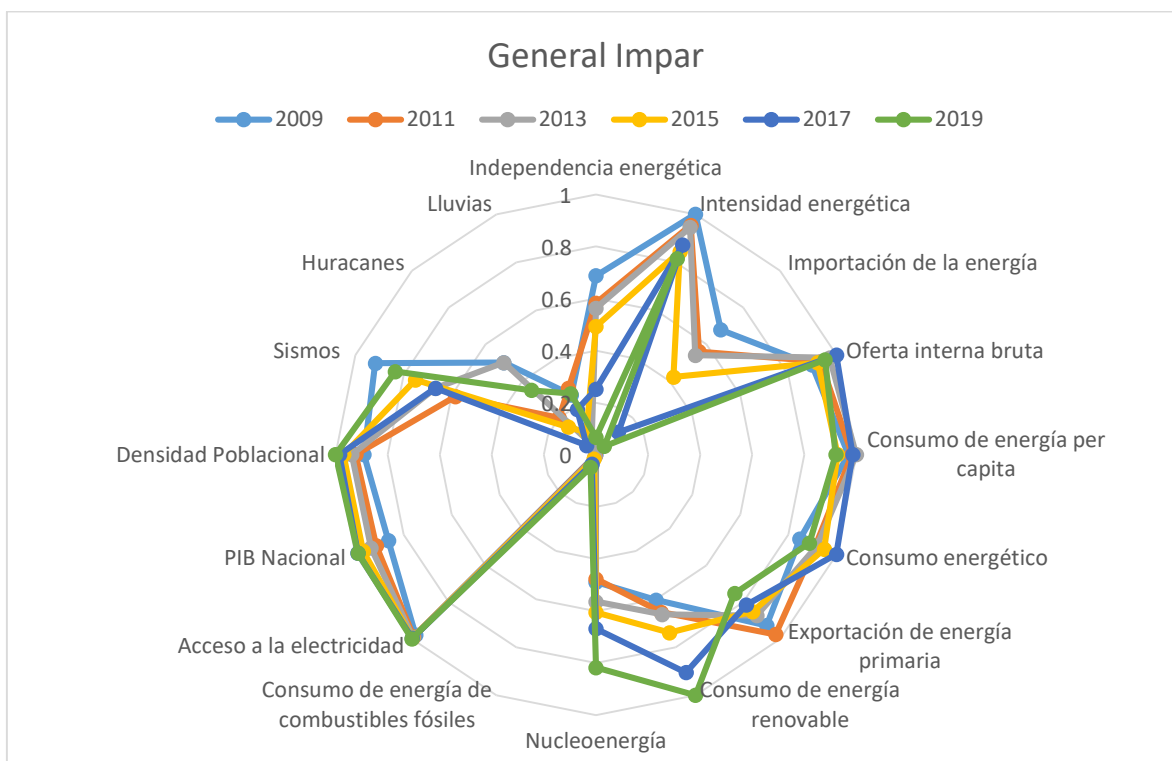


Figura 4.14 Perfil general años impar

En la figura 4.14 de años impares, se encuentra el intervalo de tiempo del año 2009 al 2019. Este radar cuenta tan solo con 6 líneas, por ende, la apreciación de la evolución de las variables a lo largo los seis años, igualmente resulta más sencilla. El patrón que se reflejaba en los años par continua, pero habrá que resaltar el caso de nucleoenergía, en el gráfico par y gráfico impar se nota el avance de la variable, pero al sobreponerlos, gráfico general, se nota un retroceso en el último año de la variable, pero centrándonos en los datos generales podemos decir que la variable va en aumento general en la disminución de su VE.

Además, otras líneas que distan en comparación con los años pares e impares, son las pertenecientes a eventos críticos, esto se debe por la cantidad de sismos por año, que la cantidad de sismos es diferente a la severidad de él, y los daños que pueda causar, lo mismo ocurre para huracanes y lluvias.



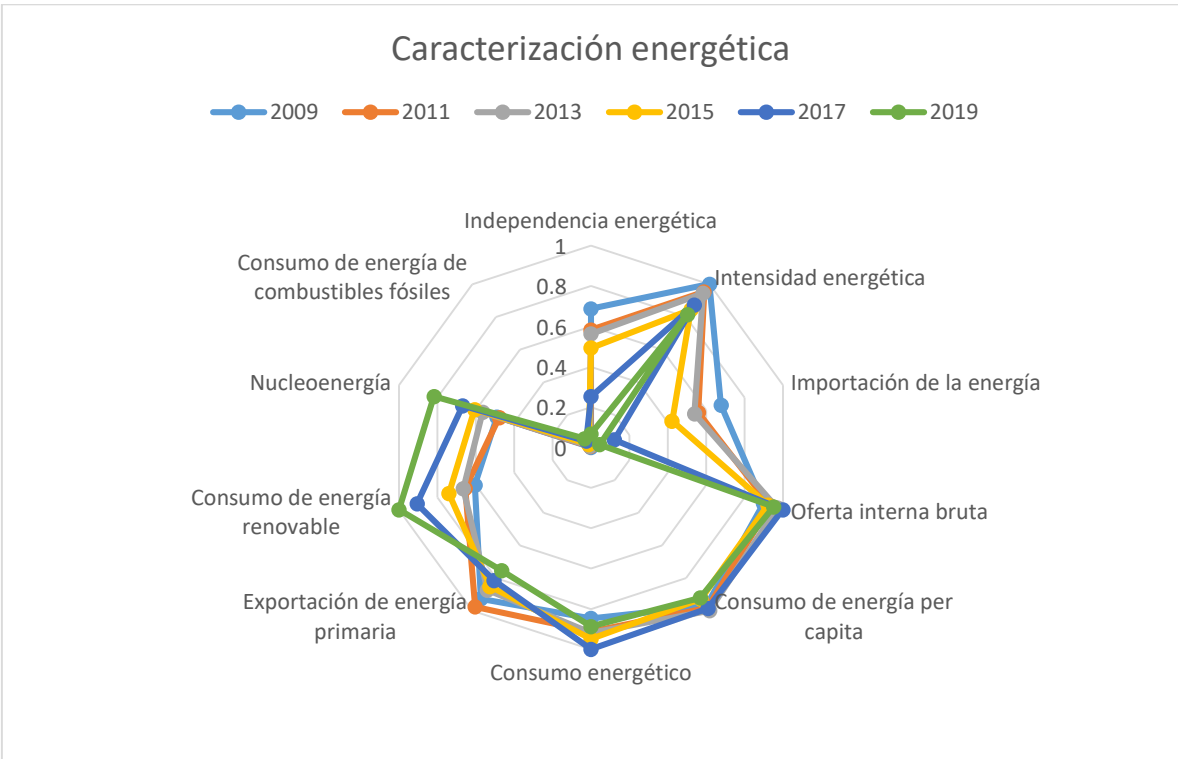


Figura 4.15 Perfil general años impar de caracterización energética

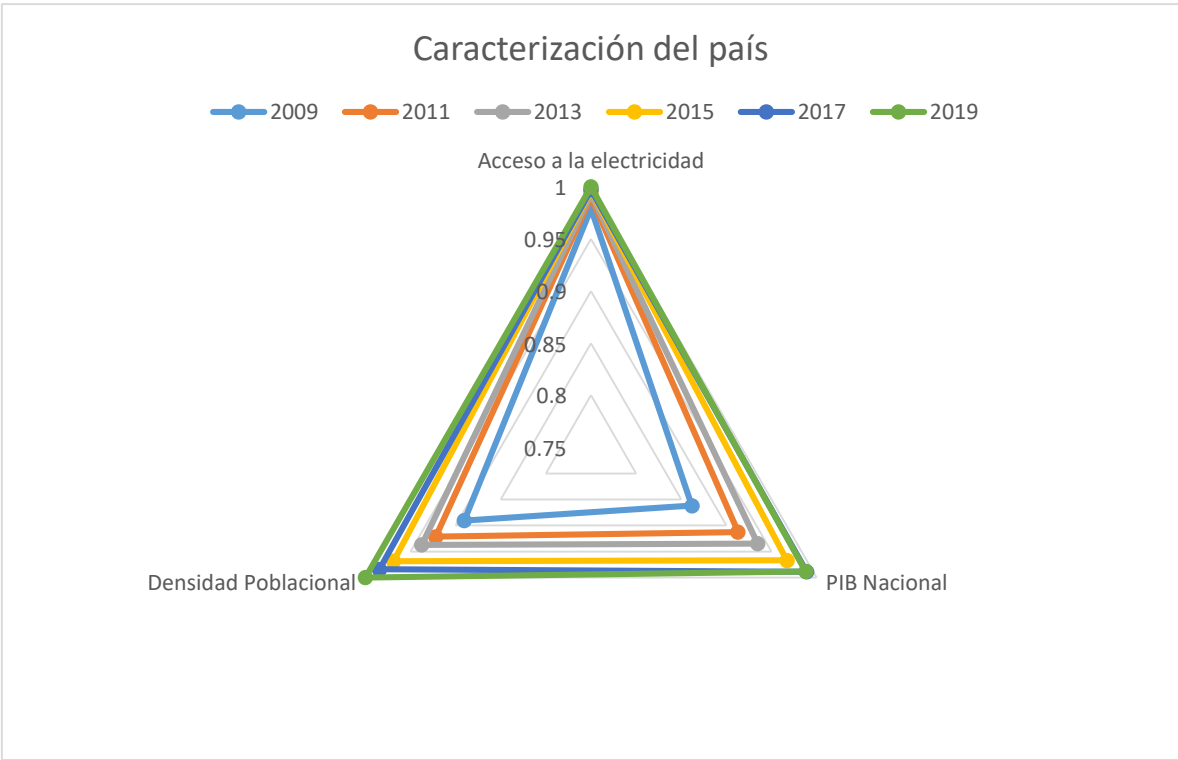


Figura 4.16 Perfil general años impar de caracterización del país



Figura 4.17 Perfil general años impar de caracterización de eventos críticos

Los radares representan la multidimensionalidad que tiene la vulnerabilidad energética y como puede entenderse por medio de un análisis de tres bloques, el energético, del país y de eventos críticos. Se mostró un panorama general y uno por años pares e impares para una mejor visualización de los datos.

En el caso de las variables englobadas en caracterización energética se puede apreciar que la tendencia en intensidad energética cada año tiende más al valor cero del radar, pero esto debe analizarse en conjunto, de lo contrario se caería en un error, al pensar que el país se acerca cada año a un valor más bajo de vulnerabilidad energética en este bloque, ya que podemos apreciar el caso de la importación de energía, el país año cada año importa mayor cantidad de energía, señalando un aumento de su VE.

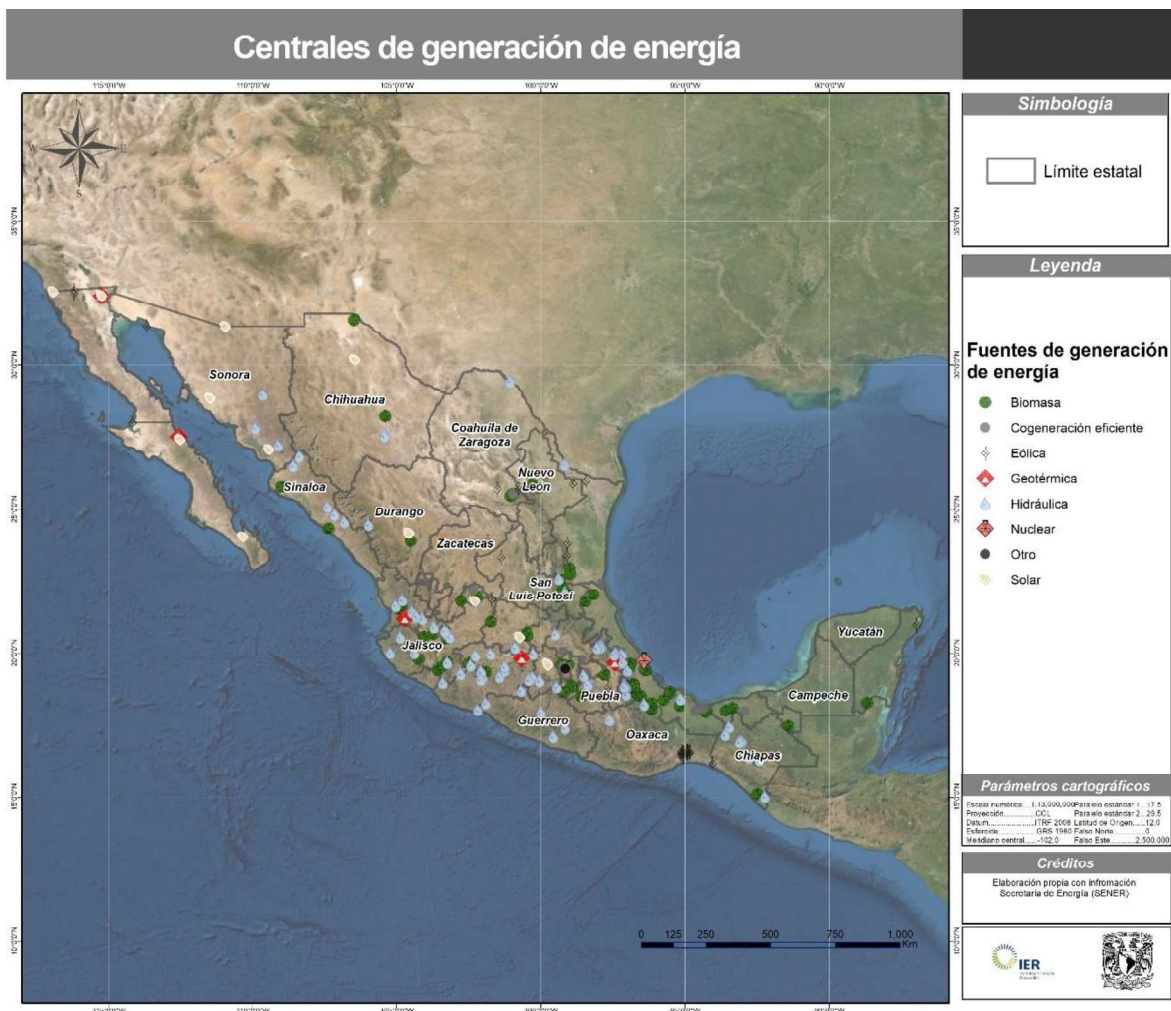
Además, las variables como oferta interna bruta fluctúan año con año, donde lo esperado debería ser una tendencia al alta como se aprecia en las figuras 4.11 y 4.15, pero la ventaja de contar con un radar general, es poder ver el panorama general de los diez años, donde su comportamiento se marca hacia niveles bajos de VE. Lo mismo se refleja en las variables de

consumo de energía per cápita y consumo energético, que además de fluctuar va teniendo tendencia a la baja reflejando mayor vulnerabilidad del sistema.

En el caso de la variable de exportación de energía se ve cómo ha ido cayendo a lo largo de este intervalo de años de estudio, señalando que la producción de energía en México es más baja para la población, y que la población año con año aumenta.

Analizando el bloque de caracterización del país, las tres variables que pertenecen a este bloque: acceso a la electricidad, densidad poblacional y PIB Nacional año con año aumentan, ¿cómo podemos entenderlo?, en primera la población de nuestro país que aumenta, va contando con electricidad en sus hogares, pero ello no refleja que pertenezcan a un sistema energético de baja vulnerabilidad al comparar estas variables con el bloque anterior de caracterización energética.

Finalmente, se puede apreciar que a los desastres naturales o eventos críticos como se han definido en esta tesis generan gran vulnerabilidad al sistema, aunque podemos ver que en el caso de los sismos hay menor vulnerabilidad correlacionando con la cultura de prevención, pero ello estresa al sistema y lo vuelve intermitente. Para reflejar estos datos muestro distintos mapas desarrollados con las centrales eléctricas del país y las zonas sísmicas con los sismos más representativos del intervalo de año que se ha manejando.

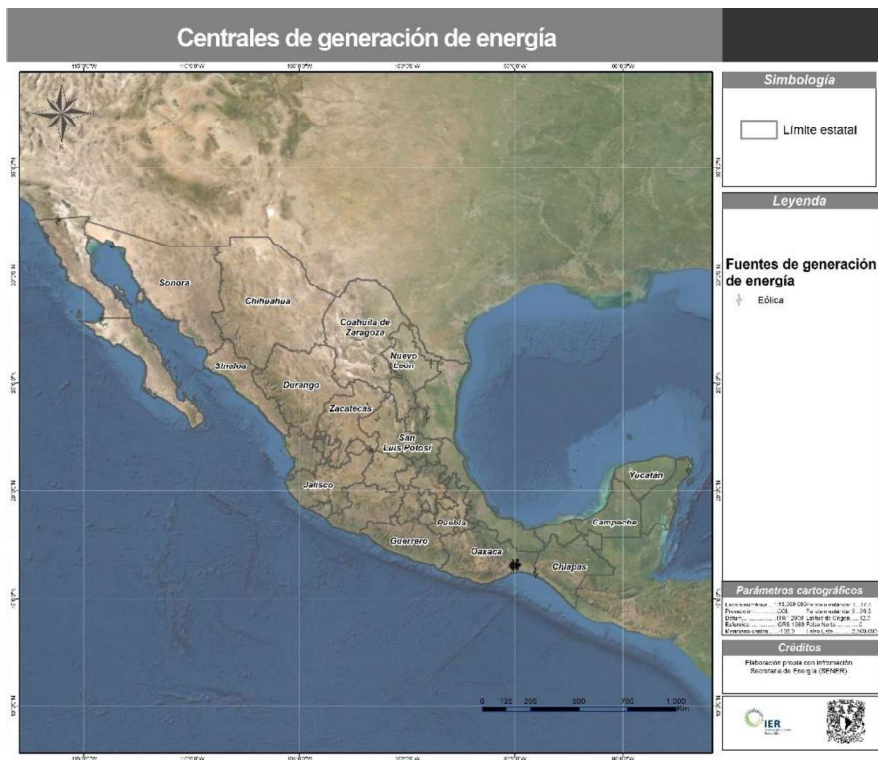


Mapa 1. Centrales de generación de energía

En este mapa general de las centrales de generación eléctrica del país se aprecian las ubicaciones de las distintas plantas del país. Estas plantas son las que dan robustez al sistema energético de México, divididas en biomasa, eólica, geotérmica, solar, hidráulica, nuclear, cogeneración y otros. A continuación, veremos cada una de las plantas en su respectivo mapa.



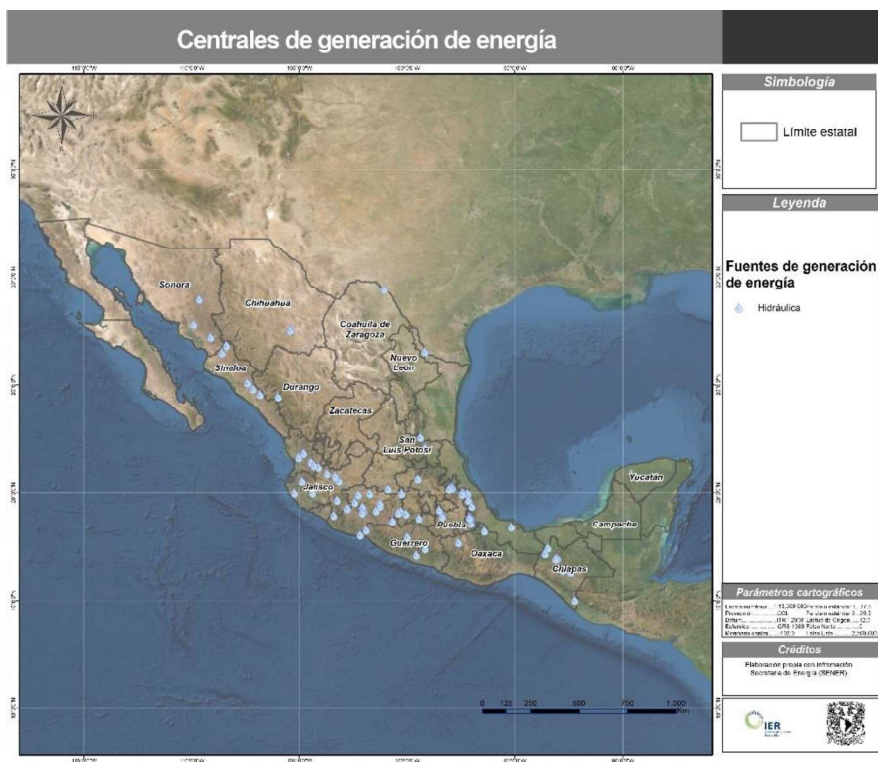
Mapa 2. Centrales de generación, biomasa.



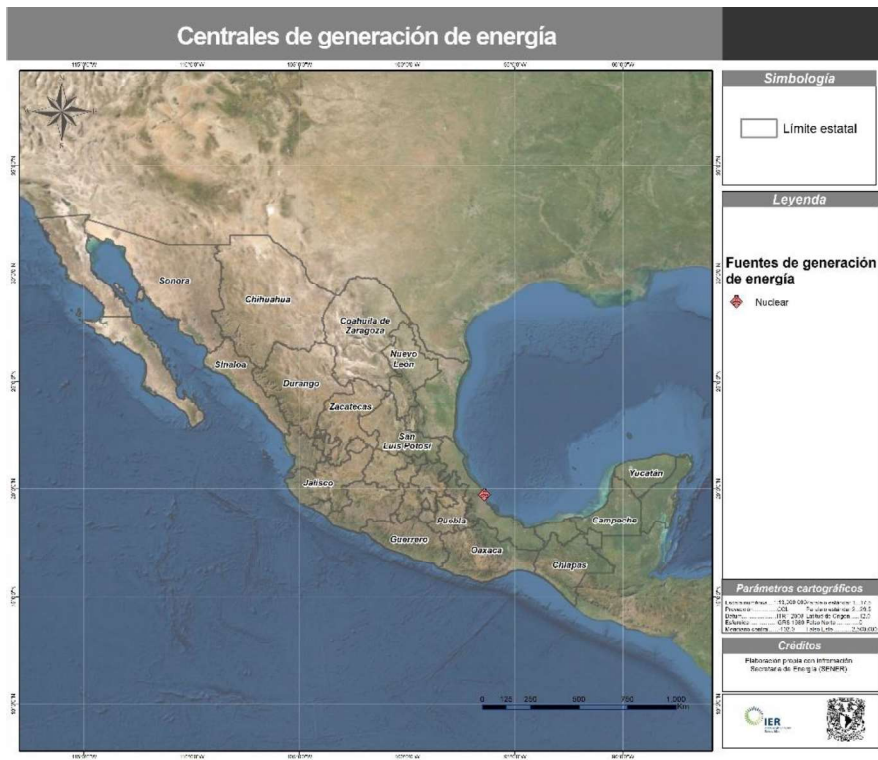
Mapa 3. Centrales de generación, eólica.



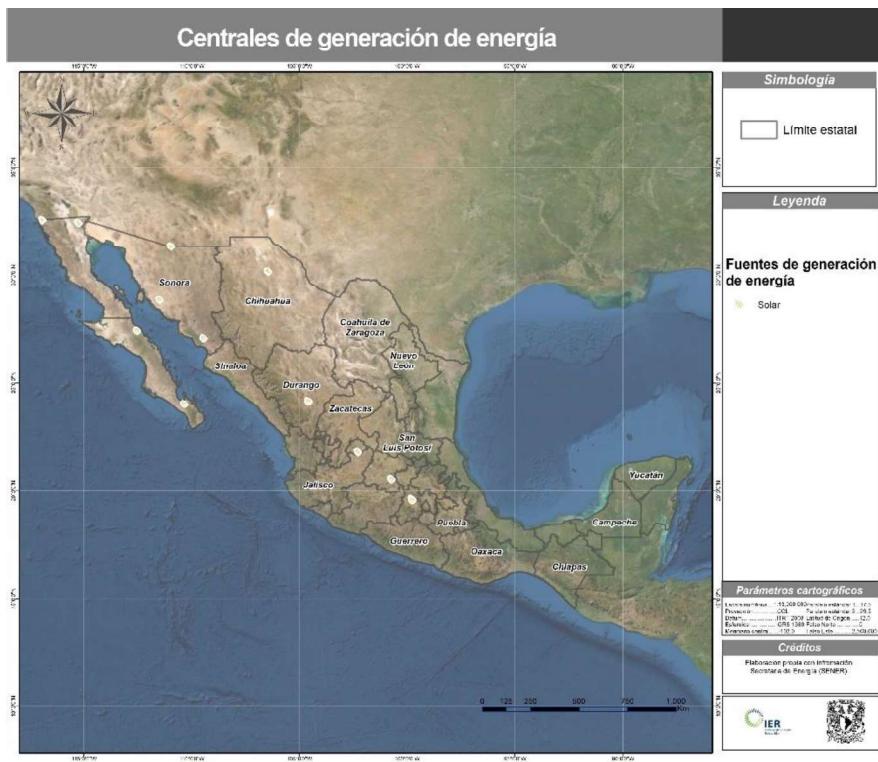
Mapa 4. Centrales de generación, geotérmica.



Mapa 5. Centrales de generación, hidráulica.



Mapa 6. Centrales de generación, nuclear.



Mapa 7. Centrales de generación, solar.

Las centrales de generación de energía, son las que suministran al país la energía requerida y reflejan la seguridad energética (ver apéndice) de la nación. Los mapas que se crearon para el trabajo muestran la ubicación y el tipo de generación de energía del sistema energético mexicano.

Cada central de generación está representada por un mapa, de acuerdo a las variables el uso de energías renovables ha ido aumentando año con año, algo que podemos ver reflejado en los tipos de generación de energía, las plantas de energías renovables se encuentran en mayor cantidad y distribuidas por el territorio nacional. Se puede aseverar una disminución de la vulnerabilidad energética.

Por otro lado, se puede ver la dependencia a la energía eléctrica, que es vital para el funcionamiento de nuestra sociedad y que, cualquier corte del suministro eléctrico que sea prolongado paralizaría por completo la estabilidad, funcionamiento y estabilidad del país.

Ahora se verán los mapas de uno de los eventos críticos con mayor ocurrencia en México por localizarse en el cinturón de fuego, los sismos, que a grandes escalas genera daños extremos.

Los sismos que afectan a México ocurren a profundidades de aproximadamente 20 kilómetros. Por ello, la precisión de los instrumentos empleados para la medición de los fenómenos sísmicos es fundamental para conocerlos y por tal motivo los científicos mexicanos desarrollan tecnología adecuada para analizar los sismos que nos afectan.

Sismos, temblores y terremotos son términos usuales para referirse a los movimientos de la corteza terrestre, sin embargo, técnicamente hablando, el nombre de sismo es más utilizado (terremoto se refiere a sismos de grandes dimensiones). Estos últimos son los que generan daños e interrupciones en el sistema energético, es por ello, que muestro a continuación los sismos de escala 6 y superiores en la Escala Richter.

Además, los siguientes mapas representan las distintas zonas de velocidades, la regionalización sísmica, y para cada año en el intervalo del 2009 al 2019, represento los sismos puntuales ocurridos. La República mexicana se encuentra dividida en 4 zonas



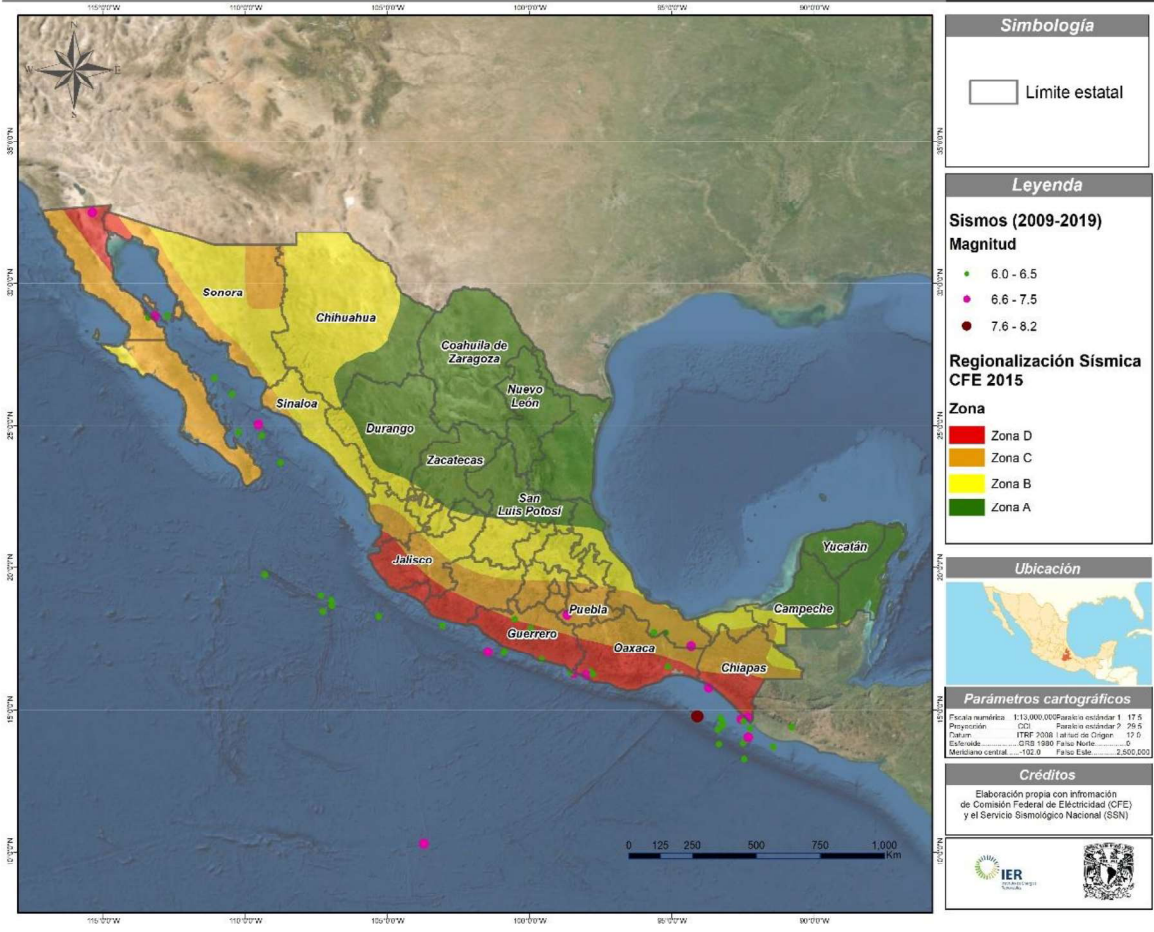
sísmicas ajustado a partir del manual de diseños de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad.

La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

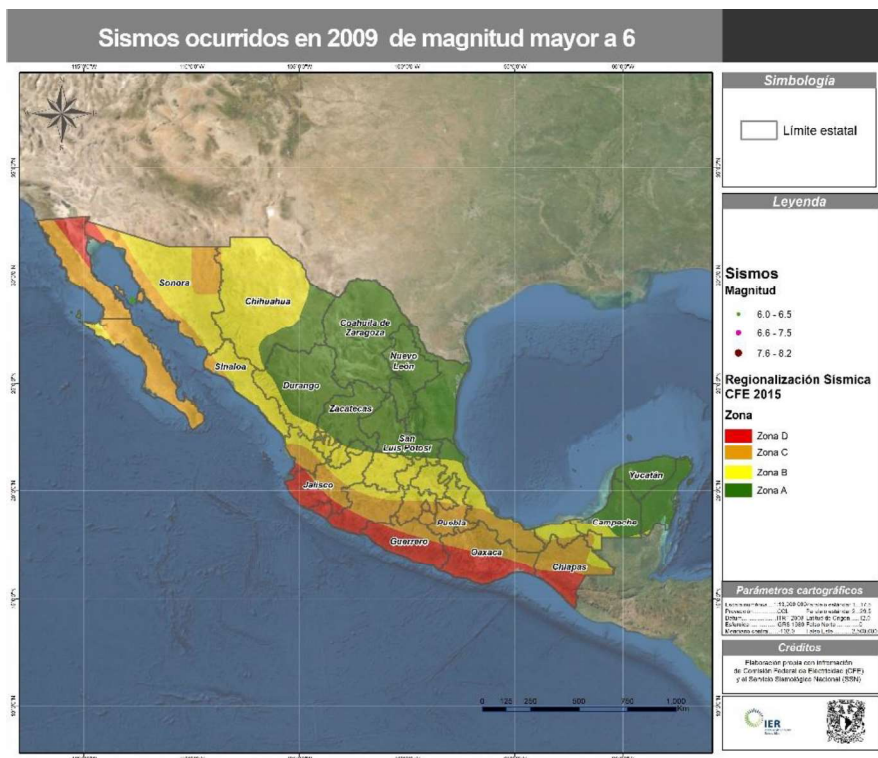
Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos y se considera una zona severa por contar con mayores velocidades de transmisión de las ondas sísmicas.

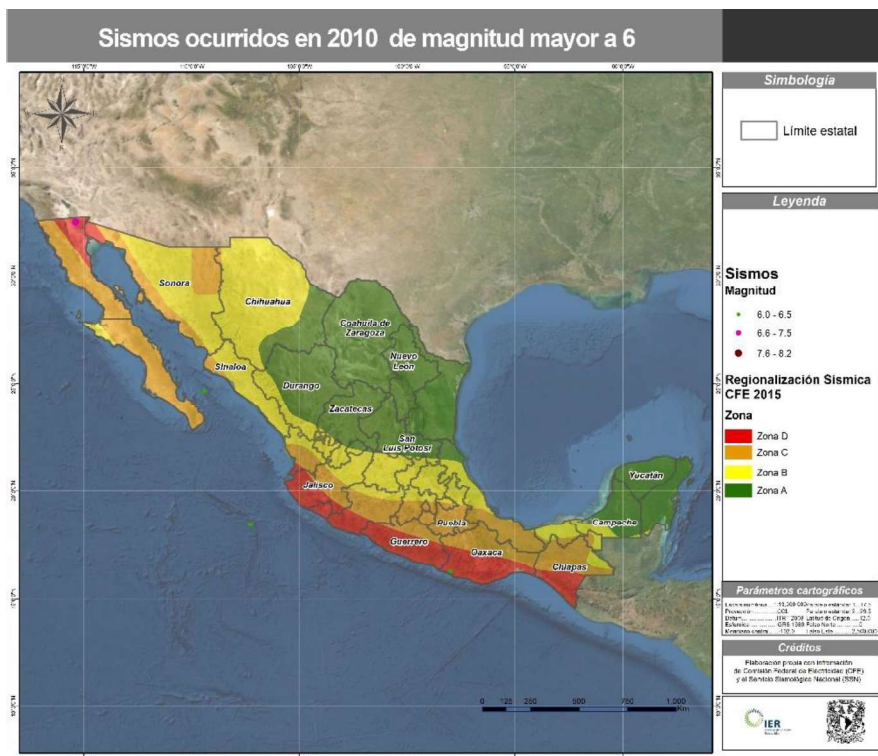
# Sismos ocurridos de 2009 a 2019 de magnitud mayor a 6



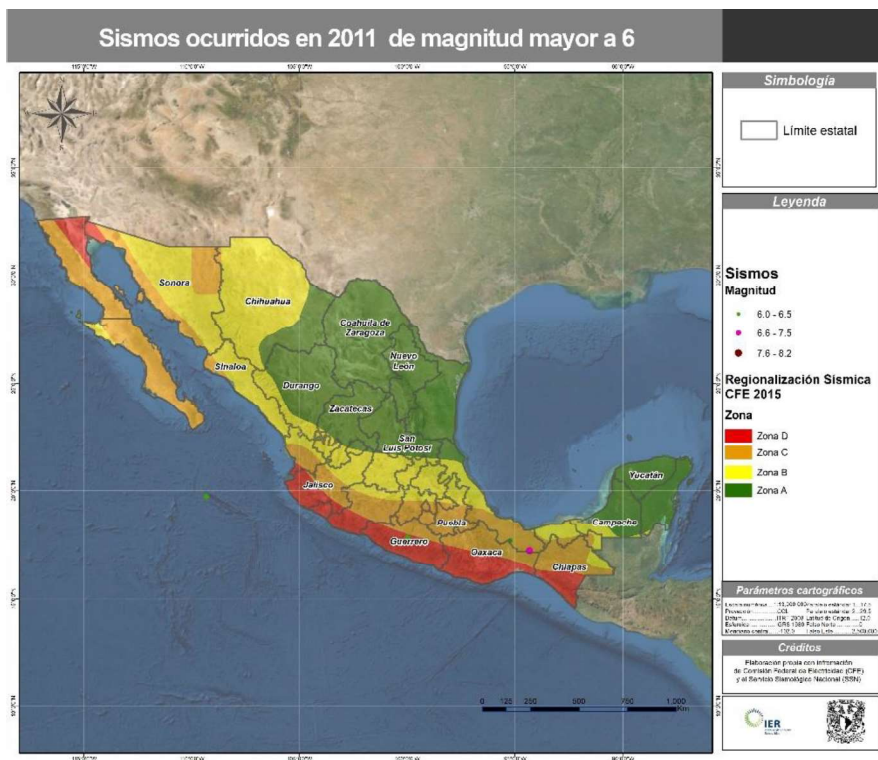
Mapa 8. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2009 a 2019



Mapa 9. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2009



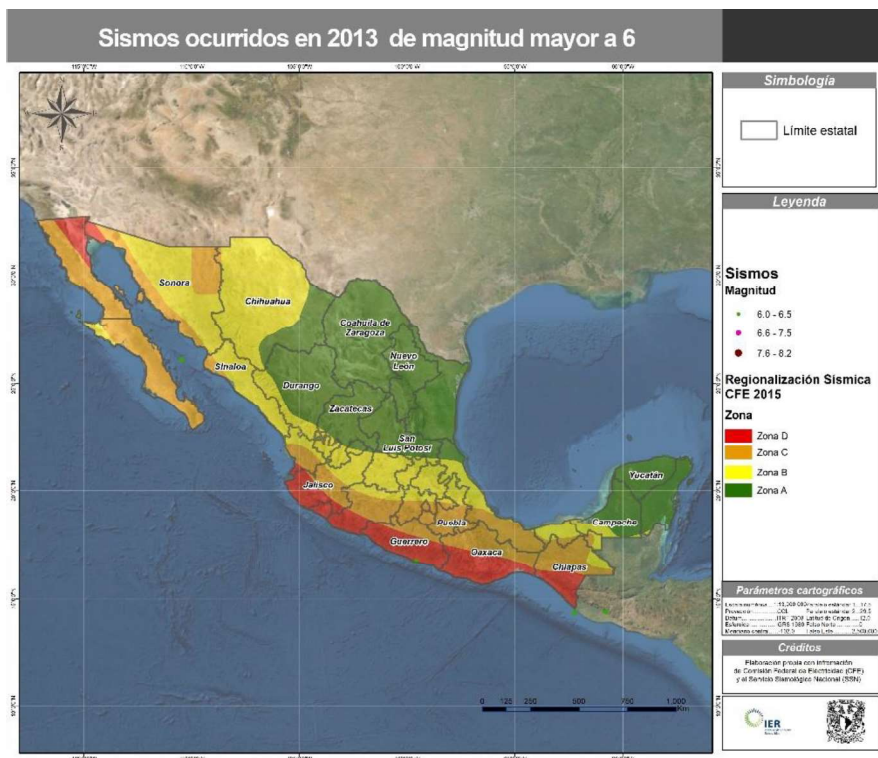
Mapa 10. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2010



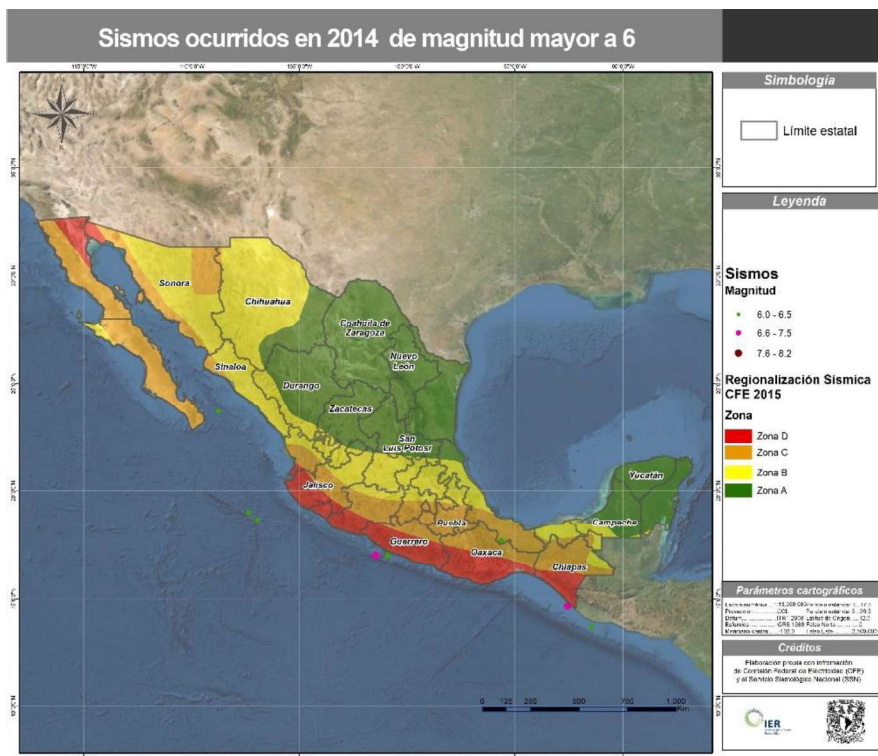
Mapa 11. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2011



Mapa 12. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2012



Mapa 13. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2013

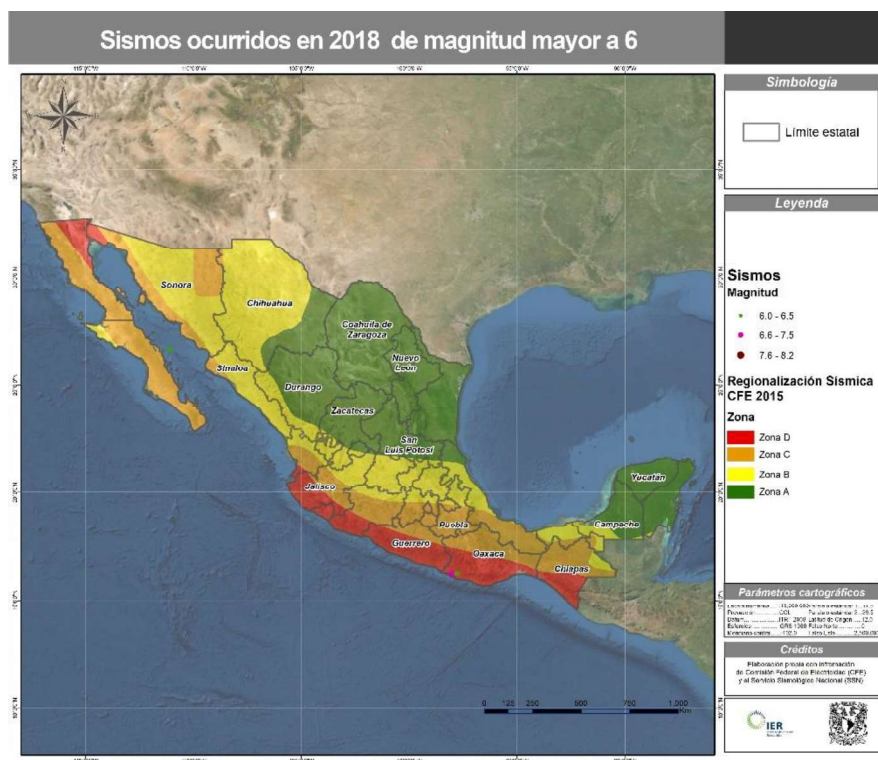


Mapa 14. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2014

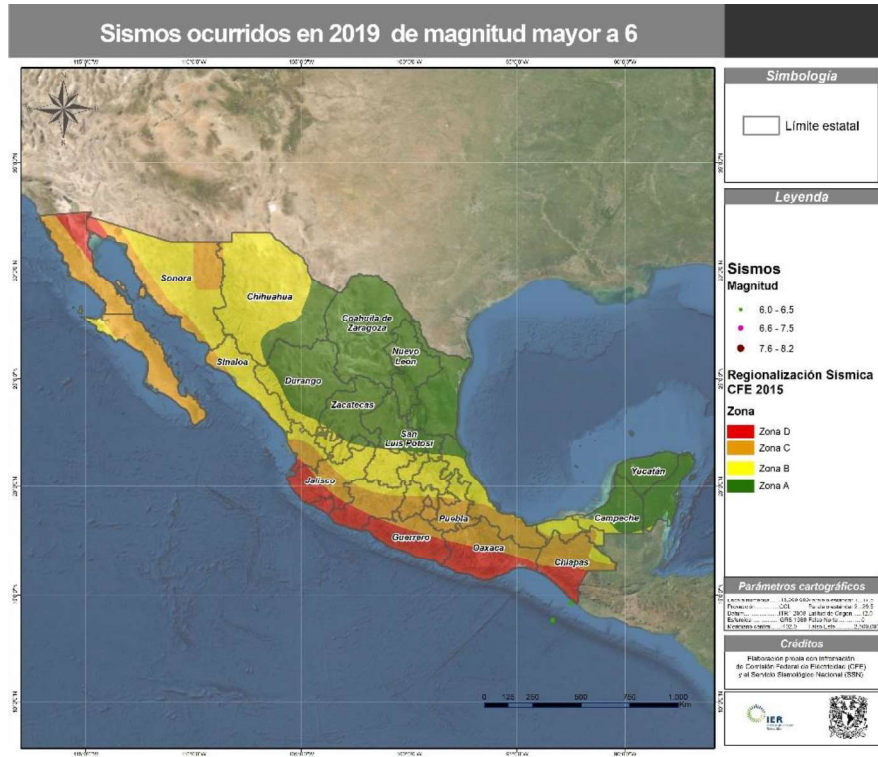




Mapa 17. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2017



Mapa 18. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2018



Mapa 19. Sismos con magnitud mayor a 6 de 2019

En todos los mapas se puede apreciar los sismos que tuvieron lugar cada año, podemos notar que para el 2012 se presentó la mayor cantidad, y en el 2016, con 12 y 7 respectivamente. La mayor cantidad de sismos ocurrieron en la Zona D, que es la de mayor velocidad, haciendo que los sismos se distribuyan en mayores zonas, afectando una mayor cantidad de plantas de energía (Mapa 1).

Los principales problemas que se generan es la distribución, al ocurrir un movimiento sísmico comienzan haber problemas de comunicación para detectar qué conexiones han fallado, el acceso físico a localidades dañadas o la falta de recursos de las compañías encargadas de la distribución para ser capaces de gestionar el gran número de reparaciones que se necesiten.

Caracterizar la ubicación de los sismos y resaltar la importancia de ellos en el tema de vulnerabilidad energética busca preparar a nivel de materiales de las infraestructuras y



criterios de seguridad, para afrontar este tipo de eventos. Los sismos no pueden predecirse, pero pueden prevenirse y contando con mapas que muestran su ubicación en los últimos años, se cuenta con un patrón de dónde es más posible que ocurran.

Los terremotos al afectar el sector energético, destacan las áreas de oportunidad necesarias en términos de actuación frente a las grandes contingencias, y, en consecuencia, aumentar la resiliencia del sistema, sobre todo a nivel de distribución.

Recapitulando, después de haber recabado información del tema de vulnerabilidad energética a nivel internacional y nacional, basándome en los índices propuestos, propuse una definición de vulnerabilidad energética y con ella desglosé tres pilares, el energético, el del país y el de eventos críticos. A partir de ellos, se realizó la recopilación de información para la creación de los radares, que se utilizó para caracterizar la vulnerabilidad energética de México. Además, se mostró la caracterización mediante los mapas de sismos y las centrales de generación.

## CAPÍTULO 5

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

Tras el análisis realizado de la literatura existente sobre VE en el mundo y en México se eligieron artículos enfocados a los sistemas energéticos. Así mismo, se eligieron varios trabajos en los cuales se proponían distintas definiciones de vulnerabilidad energética que ayudaron para la creación de la definición presentada en este trabajo. Para caracterizar la VE se desarrollaron tres grandes bloques donde se encontrarán la parte energética, características del país y una parte de los eventos naturales a los que se nombró como eventos críticos.

De los artículos se tomaron distintas variables que reflejan la vulnerabilidad energética del país, con el análisis multidimensional que requiere el tema. A partir de estas variables se logró crear perfiles a nivel nacional, correlacionando las variables en radares, para poder caracterizar la vulnerabilidad, y también reflejarla en mapas que representan algunas variables estudiadas en la escala subnacional.

De acuerdo con la revisión de la literatura, los impactos del cambio climático en los sistemas energéticos pueden tener efectos indirectos en otros sistemas como los económicos, los sociales y los naturales. Además, los impactos pueden llegar a afectar la cadena de suministros, como la oferta y demanda de energía, es por ello la relevancia de las variables en el bloque de caracterización energética. Uno de los mayores desafíos a la hora de evaluar los impactos del cambio climático es hacerlo de forma integrada para tener en cuenta las numerosas y complejas interrelaciones no solo dentro del sector energético, sino también con otros sectores.

Los radares presentados, al contar con el enfoque multifactorial, representan gráficamente la información requerida para la toma de decisiones. Se presentan en un lapso de años (2009 - 2019) que marcan la tendencia en la que se encuentra el país. Cabe resaltar que las mediciones no se integran en un solo índice que aritméticamente o geoméricamente buscara representar en un solo valor, toda la diversidad de conceptos que componen la vulnerabilidad. Esto se hace considerando que ayuda a la generación de políticas al resaltar las áreas de oportunidad del sistema energético para llegar a contar con un sistema resiliente.

También se explora la interrelación entre dieciséis indicadores de vulnerabilidad energética enfocados al sistema energético. Sin embargo, el análisis puede beneficiarse de la inclusión de más factores. Debido a limitaciones en los datos y el enfoque que se le dio al trabajo, no se consideraron algunos factores como reservas estratégicas de petróleo, políticas energéticas específicas del país, disponibilidad de instalaciones de refinación y reservas de energía. Teniendo una mayor cantidad de datos y variables se puede caracterizar con un enfoque que nos permita incluir temas de seguridad energética.

Además de las mencionadas variables, tampoco se han tenido en cuenta los riesgos medioambientales y hay muchas áreas en las que es deseable mejorar los datos y los métodos; por ejemplo, el análisis no incorpora riesgos geopolíticos por factores como averías de la infraestructura (vulnerabilidad de los cuellos de botella o atentados terroristas en las infraestructuras). Se han asumido los datos existentes en la oferta interna bruta de energía, pero no se contemplan los riesgos futuros en ella.

Igualmente, se pueden abordar las interrupciones en la producción nacional (debido a factores como paros en el mantenimiento del sistema o averías relacionadas con la infraestructura). Y, por último, las reformas de políticas es un proceso dinámico que cambia a lo largo de un período de tiempo y los gobiernos del país.

No obstante, se espera que este análisis contribuya a una mejor comprensión de la vulnerabilidad energética y los factores responsables de su multidimensionalidad. La caracterización de la vulnerabilidad energética no fue sencilla. El propósito de caracterizar

la vulnerabilidad energética de México es dimensionar la vulnerabilidad y el riesgo, usando datos a escala nacional, para facilitar a los tomadores de decisiones del país el acceso a información relevante que les permita identificar y proponer acciones efectivas de gestión de riesgos, considerando aspectos energéticos, institucionales y técnicos. Esta caracterización permite representar el riesgo y la gestión del riesgo a escala nacional, facilitando la identificación de los aspectos esenciales que lo caracterizan desde una perspectiva económica y energética, así como también comparar estos aspectos o el riesgo mismo de los diferentes países estudiados.

El sistema energético mexicano enfrenta grandes desafíos, como es el abastecimiento energético y la mejora del desempeño de empresas encargadas de estos sectores. Como se aprecia en los datos y radares el abastecimiento de energía de nuestro país se caracteriza por fuentes diversas, como lo son el suministro de petróleo, el cual marca una tendencia a la baja en su uso y una tendencia al alta en el campo de la vulnerabilidad energética. En materia de suministro petrolero se ha observado una disminución de los esfuerzos exploratorios, pero un aumento en las actividades de producción.

Con respecto al gas natural, su consumo ha aumentado en los últimos años, como resultado principalmente de una mayor utilización en la producción de electricidad. Sin embargo, la dependencia de las importaciones del gas natural incrementa la vulnerabilidad del país. Es factible que el país, fortalezca su oferta interna y comience una transición de los productos petroleros al gas natural.

Trabajando en esta transición se busca fortalecer la industria eléctrica, atacando el riesgo de cortes y las deficiencias del sistema, contar con un alto margen de reservas y disminuir las debilidades del sistema. Al igual que, contar con oportunidades de ahorro de energía y aprovechamiento de las fuentes renovable. Aunque hay que tener en consideración las tecnologías que constantemente están evolucionando y que pueden ir reduciendo los costos.

De esta manera, se deben impulsar políticas y acciones orientadas a maximizar la explotación de aquéllas técnicamente posibles y económicamente rentables. Para lograrlo, se requiere avanzar en diferentes aspectos como lo son: precios reales de la energía, normas sobre

eficiencia energética y regulaciones que promuevan la cogeneración y las fuentes renovables de energía.

Con el objetivo de que las empresas públicas logren cumplir con sus responsabilidades, sería necesaria una revisión profunda de sus relaciones con el Estado, y su modo de operar. Sin duda podrían mejorar su desempeño mediante diversas acciones, como el ejercicio de una mayor autonomía en los planos operativo, administrativo, financiero y estratégico; la reestructuración interna, bajo nuevas formas de organización, y la internacionalización y búsqueda de alianzas estratégicas.

## 5.2 Recomendaciones

El análisis realizado se hizo a una escala de país, con datos a nivel nacional, para este primer trabajo es un buen acercamiento para reflejar y estudiar la vulnerabilidad energética de México, pero en trabajos futuros esto puede realizarse a nivel estatal y local. No se encontrarán las mismas variables que se tienen a nivel país, pero puede adaptarse el análisis a datos regionales y locales.

Esto podría hacerse, buscando variables que representen los tres bloques propuestos, energético, del país y de eventos críticos. Cada estado o localidad contará con distintos datos que pueden apegarse a cada bloque, con ellos se podría hacer un análisis desagregado por región, que claro dependerá de los datos existentes y la factibilidad de sus relaciones.

Según las proyecciones climáticas más recientes, se espera que el cambio climático global tenga impactos considerables en los sistemas naturales y humanos. Sin embargo, a pesar de ser uno de los sistemas clave para el desarrollo social y económico, los sistemas de energía a menudo no incorporan los efectos de las variaciones futuras del clima en su planificación y operación.

Igualmente, otras preguntas a plantear en un trabajo futuro o continuación de este son: ¿qué sistemas energéticos son vitales? ¿A qué riesgos a corto y largo plazo están expuestos? ¿cuál es su resiliencia? ¿Qué problemas futuros se enfrentan las actividades relacionadas a la

energía? ¿para quién? Encaminar este nuevo enfoque a la seguridad energética de la nación. Abordar estas preguntas reúne los conocimientos de varias ciencias y disciplinas para promover la ciencia de la seguridad energética, así como apoyar la formulación de políticas informadas, un mejor análisis de políticas y de aprendizaje.

Con base en la información proporcionada por este trabajo sobre las distintas variables para caracterizar la vulnerabilidad energética, los formuladores de políticas podrían tomarlas como guía para implementar medidas en la construcción de infraestructura energética, buscando que las variables en los radares que año con año van llegando al cero comiencen a subir, tal es el caso de la importación de energía y que a su vez las variables que están en aumento como la de consumo de combustibles fósiles, comience a bajar. Recordando que deberán analizarse en conjunto con datos en otro intervalo de años para analizar si el aumento o disminución de las variables mencionadas por solitario afectarán o no a la disminución de la VE.

## Bibliografía

- Aguilar, A. a. (2003). Globalization, regional development, and mega-city expansion in Latin America: Analyzing Mexico City's periurban hinterland. *Cities*, 3-21.
- Ávila, H. (2001). Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos. Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 108-127.
- Azapagic, A. &. (2005). An integrated sustainability decision-support framework Part II: Problem analysis. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 112-131.
- Barthelmie, S. P. (2010). Climate change impacts on wind energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 430-437.
- Bouzarovski, S. P. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science*, 31-40.
- Bouzarovski, S. T. (2017). Energy Vulnerability in the Grain of the City: Toward Neighborhood Typologies of Material Deprivation. *Annals of the American Association of Geographers*.
- Bouzarovski, S. T. (2017). Energy Vulnerability in the Grain of the City: Toward Neighborhood Typologies of Material Deprivation. *Annals of the American Association of Geographers*.
- Bouzarovski, S., & Simcock, N. (2017). Spatializing energy justice. *Energy Poliy*, 640–648.
- CEPAL. (2018). Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética en México. CEPAL.
- CFE. (2019). *Guía para la elaboración de programas para la prevención de accidentes, para su aplicación en instalaciones de CFE*.
- CONAFOVI, C. N. (2006). *Uso eficiente de la energía en la vivienda*. Ciudad de México: CONAFOVI.
- Cox, R. I. (2017). Children and youth's biopsychosocial wellbeing in the context of energy resource activities. *Environmental Research*, 499-507.
- Dodman, D. (2009). Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment and Urbanization*, 185.
- DOF. (2017). *Política pública de almacenamiento mínimo de petrolíferos*.
- DOF. (2020). *Programa sectorial de medio ambiente y recursos naturales*.
- Donati, B. (1948). ¿Qué es justicia social? *Revista de la Escuela Nacional de Jurisprudencia*, 1-7.
- FORBES. (2018). Economía y finanzas. *FORBES*.

- Fortier, M. O. (2019). Introduction to evaluating energy justice across the life cycle: A social life cycle assessment approach. *Applied Energy*, 211–219.
- Gatto, A. B. (2020). Energy vulnerability around the world: The global energy vulnerability index (GEVI). *Journal of Cleaner Production*.
- Gatto, A., & Drago, C. (2020). A taxonomy of energy resilience. *Energy Policy*, 136.
- Gupta, E. (2008). Oil vulnerability index of oil-importing countries. *Energy Policy*, 1195-1211.
- Harrison, G. W. (2002). Vulnerability of hydropower projects to climate change. *IET Proceedings - Generation Transmission and Distribution*, 249-255.
- Heffron, R. J. (2017). The concept of energy justice across the disciplines. *Energy Policy*, 658–667.
- Jenkins, K. M. (2014). Energy justice, a whole systems approach. *Queen's Political Review*, 74–87.
- Joss, S. (2015). *Sustainable Cities: Governing for Urban Innovation*. Londres, Reino Unido: Palgrave.
- Majodina, M. B. (2018). The vulnerability of the South African electricity transmission network infrastructure to weather and climate: A review. *Journal of Energy in Southern Africa*, 51-59.
- Murias, P. V.-A.-F. (2020). A Territorial Estimate for Household Energy Vulnerability: An Application for Spain. *Sustainability*, 12(15), 5904.
- Oswaldo, Ú. (2017). Universidad Nacional Autónoma de México - Nueva Época. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, Año LXII, núm 230.
- Percebois, J. (2007). Energy vulnerability and its management. *International Journal of Energy*, 51-62.
- Perkins, N. K. (2011). Climate change, nuclear power, and the adaptation-mitigation dilemma. *Energy Policy*, 318-333.
- Schaeffer, R. e. (2012). Energy sector vulnerability to climate change: A review. *Energy* 38, 1-12.
- SENER. (2019). *Balance Nacional de Energía*.
- SENER. (2019). *Programa sectorial de energía 2020-2024*.
- Snell, C. (2015). Justice, fuel poverty and disabled in England. *Energy Research and Social Science*, 123-132.
- Thomson H., S. N. (2019). Energy poverty and indoor cooling: An overlooked issue in Europe. *Energy & Buildings* 196, 21-29.
- Van Vliet, e. a. (2012). Climatic Change. 551-561.



Walker, G. D. (2012). Fuel poverty as injustice: Integrating distribution, recognition and procedure in the struggle for affordable warmth. *Energy Policy* 49, 69-75.

Walker, G. D. (2012). Fuel poverty as injustice: integrating distribution, recognition and procedure in the struggle for affordable warmth. *Energy Policy*, 69-75.

Yamba, F. D. (2011). Climate change/variability implications on hydroelectricity generation in the Zambezi River Basin. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* volume, 617–628.

## Apéndice

### Conceptos

#### **Efecto Joule**

El efecto Joule se produce cuando se hace circular corriente eléctrica a través de un material conductor, y establece que se elevará la temperatura del mismo debido a que parte de la energía cinética de los electrones que circula en el material se transformará en calor.

#### **Justicia distributiva**

Es dar igual cantidad de bienes a todos los miembros pertenecientes de una sociedad. Tiene como fin promover el bienestar y la estabilidad de la comunidad. También busca corregir las desigualdades de la naturaleza por medio de los méritos propios, pero garantizando las condiciones mínimas de la calidad humana. “Dar a cada quien lo que se merece” a cada persona le corresponde lo que se merece por méritos propios. Implica una distribución justa de los impactos positivos y negativos de los sistemas de energía. Esto se traduce en una pregunta sobre quién se beneficia y quién sufre el daño social y ambiental de la producción y consumo de energía.

#### **Justicia energética**

Es definida como un sistema energético global que disemina en forma justa los beneficios y costos de los servicios energéticos y por la que se toman decisiones sobre energía en forma representativa e imparcial. Toma en consideración los principios de distribución, procedimiento y reconocimiento.

#### **Justicia social**

Se basa en la igualdad de oportunidades y en los derechos humanos. Está basada en la equidad y es imprescindible para que cada persona pueda desarrollar su máximo potencial y para una sociedad en paz.

### **Pobreza energética**

La pobreza energética es una condición de los hogares, y ocurre cuando estos son incapaces de satisfacer sus necesidades energéticas. Esto puede ser debido a diferentes causas, más allá de la falta de acceso, los precios de la electricidad o gas, electrodomésticos y edificaciones ineficientes, bajos ingresos en el hogar, o intermitencia en el servicio

### **Precipitación**

La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que consiste en la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La precipitación se produce como consecuencia de la condensación, es decir, por la acumulación de vapor de agua en la atmósfera que propicia la formación de nubes.

### **Resiliencia energética**

Es la capacidad de un sistema de energía de tolerar perturbaciones continuando con el suministro de energía a los consumidores. Un sistema de energía resiliente es aquel que puede rápidamente recuperarse de grandes shocks proveyendo diversos medios para suministrar energía cada vez que existan cambios en las circunstancias externas.

### **Seguridad energética**

Se concibe como la acción de garantizar el suministro de energía de manera sostenible medioambiental y económicamente, a través del abastecimiento exterior y la generación de fuentes autóctonas, en el marco de los compromisos internacionales.

### **Sismo**

Sacudida de la superficie terrestre por dislocación de la corteza. Las fuentes son de varios tipos (tectónicas, volcánicas, explosiones, meteoritos, etc.), siendo las más comunes las tectónicas.

### **Sistemas energéticos**

Un Sistema Energético es un conjunto de unidades procesadoras, oleoductos, canales, presas, motores, calderas, torres de destilación, turbogeneradores, subestaciones, líneas de

transmisión y distribución, tanques, cisternas, compresores y muchos otros más, conformando complejos conjuntos cuyo objetivo fundamental, es llevar la energía desde donde se encuentran las energías primarias, hasta los usuarios, donde estén y en las cantidades, características y calidad en el momento en que se necesite.

### **Sostenibilidad**

Consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer a las necesidades de las generaciones futuras, al mismo tiempo que se garantiza un equilibrio entre el crecimiento de la economía, el respeto al medioambiente y el bienestar social.

### **Temperatura**

Propiedad que determina cuándo se encuentra o no un objeto en equilibrio térmico con otro objeto y se puede afirmar que la propiedad en común que tiene los dos cuerpos se llama temperatura.