



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

EL POTENCIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES
EN MÉXICO.

TESINA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

ANDREA AGUILAR DE LA O

ASESOR ACADÉMICO

DR. EN C. JULIÁN CRUZ OLIVARES

TOLUCA, MÉXICO

JULIO 2021

ÍNDICE

Objetivo	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Resumen	6
Introducción	7
Capítulo 1. Electricidad: definiciones referentes al tema	9
1.1 Electricidad	9
1.1 Conceptos relacionados con la energía eléctrica	10
1.1.2 Generación de energía eléctrica	12
1.2 Fuentes tradicionales de energía	13
1.2.1 Combustibles fósiles	14
1.2.2 Tecnologías convencionales de generación de energía eléctrica	15
1.2.3 Energía Nuclear	17
1.3 Fuentes renovables de energía	18
1.3.1 Hidráulica	18
1.3.2 Eólica	18
1.3.3 Bioenergía	19
1.3.4 Solar	19
1.3.5 Geotérmica	20
Capítulo 2. La transición energética	21
2.1 Importancia de la transición energética	23
2.1.1 Bienestar socio-económico	23
2.1.2. Bienestar ambiental	27
2.2 El Trilema Energético Mundial	28
2.2.1 Sostenibilidad ambiental	29
2.2.2 Seguridad o garantía de suministro	34
2.2.3 Competitividad económica.	35
2.3 Retos y tendencias futuros de las energías sustentables	35
2.3.1 Retos.	35
2.3.2 Tendencias.	39
2.3.3 Estrategia Puente	40
Capítulo 3. Energías sustentables en México	41

3.1 Situación actual energética del país	41
3.1.1 Mercado energético en México	42
3.1.2 Producción y consumo de energía en México	44
3.1.3 Disponibilidad de recursos	47
3.1.4 Capacidad instalada y generación	48
3.1.5 Eficiencia del sistema energético mexicano	49
3.1.6 Costos del deterioro ambiental en México	51
3.2 Política pública ambiental	52
3.2.1 Política pública	52
3.2.2 Metas de generación de energía limpia	53
3.2.3 Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios	55
3.2.4 Otros elementos importantes	58
Capítulo 4. El futuro de las energías sustentables en México	59
4.1 Potencial energético renovable en México	59
4.2 Potencial económico renovable en México	63
4.3 Potencial del mercado energético renovable en México	64
4.3.1 Primer subasta energética	64
4.3.2 Segunda subasta energética	65
4.5 Retos de la transición energética en México	66
4.5.1 Sustentabilidad ambiental	66
4.5.2 Inclusión social	67
4.5.3 Participación social	69
4.6 Generación distribuida de las energías renovables	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de emisiones por central	18
Tabla 2. Comparación concentración de GEI preindustriales-siglo XXI	23
Tabla 3. Composición de la tasa de empleo por energía según la fuente en 2019	27
Tabla 4. Compromiso de reducción para 2030	34
Tabla 5. Tipos de centrales categorizadas por su factor anual de carga	38
Tabla 6. Consumo final por tipo de energético 2017	47
Tabla 7. Capacidad instalada de energía renovable	50
Tabla 8. Potencial de energía renovable en México	60
Tabla 9. Resultados de primera subasta	65
Tabla 10. Resultados de segunda subasta	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Variación del consumo de energía 2018 vs 2017	12
Fig. 2. Composición de la matriz energética 2018	14
Fig 3. Escenario global de predicciones basadas en los NCD del acuerdo de Paris para el PIB en 2050	26
Fig 4. Instrumentos del MEM	43
Fig 5. Producción de energía primaria	46
Fig 6. Consumo energético en México, dividido por sectores	47
Fig 7. Evolución de la capacidad instalada 2014-2015	49
Fig 8. Generación nacional 2015	50
Fig 9. Eficiencia energética en 2018	51
Fig 10. Costos ambientales	52
Fig 11. Evolución de la política ambiental en México	54
Fig 12. Sector energético 2050	57
Fig 13. Instrumentos del sector energético 2050	58
Figura 14. Potencial solar en México	61
Figura 15. Proyectos de energía eólica	62
Figura 16. Potencial de la energía por biomasa	63
Figura 17. Modelo de potencial económico de las energías renovables	64
Figura 18. Composición de la generación energética mundial en 2015	64
Figura 19. Predicción de emisiones para 2100	68
Figura 20. Índice de pobreza energética	69

CONTENIDO

Objetivos:

Objetivo general

Por medio de un análisis documental de la situación de las energías sustentables —a nivel global y específicamente en el territorio nacional— plantear un futuro posible de transición energética en México —de un modelo basado en combustibles de tipo fósil, a electricidad obtenida por medio de energía de fuentes renovables—.

Objetivos específicos

1. Identificar los tipos de energías disponibles en la actualidad y su funcionamiento.
2. Revisión de la gestión ambiental global, bases y resultados.
3. Determinar la situación actual y las perspectivas de las energías sustentables en México.
4. Analizar el impacto de los factores social, económico y político en la transición energética de México.
5. Plantear un futuro probable para las energías sustentables en el país.

Resumen

La creciente necesidad de energía, que deriva en el aumento de generación energética proveniente de combustibles fósiles, ha ocasionado un incremento en la temperatura del planeta; poniendo en peligro las diversas formas de vida que habitan el mismo. Al ser los Gases de Efecto Invernadero uno de los principales causantes de esta problemática, se han realizado distintas estrategias para la reducción de los mismos; un ejemplo es la transición energética.

A pesar de contar con directrices estandarizadas para el fin, como el caso de acuerdos y tratados sobre el tema; se han observado distintos grados de avance, según el país que se estudia. Esto se debe a una serie de variables que cambian de nación en nación y que resultan ser clave en la transición energética; como son el caso de la economía, los avances tecnológicos de un país y sus políticas públicas.

Este estudio se dedica a analizar el potencial de las energías renovables en México, utilizando como base el trilema energético propuesto por World Energy Council, que explica que la transición energética requiere sostenibilidad, seguridad y rendimiento económico. El estudio de los países nombrados como casos de éxito demostró, que entre las distintas variables de apoyo a la transición energética, las de mayor importancia son: las políticas ambientales, los organismos que las soportan, la inversión en el desarrollo de las mismas y la disponibilidad de recursos.

Para el caso de México se concluye que a pesar de contar con una gran disponibilidad de recursos el proceso de transición energética apenas comienza y necesita de mecanismos legales más ambiciosos y adecuados a las necesidades del territorio para poder desarrollarse de mejor manera.

Introducción

Desde su descubrimiento, la energía se muestra como catalizador de la especie humana, su aparición en forma de fuego marcó la conversión de un ser humano nómada a su versión sedentaria. De esta manera el ser humano ancló el uso de energía a su rápido crecimiento y con el tiempo y la evolución del uso de esta energía se facilitó la vida diaria; resultando en una evolución dependiente de la energía en todas sus formas.

A principios del año 2019 la Organización Mundial del Medio Ambiente, lanzó un comunicado, en el que se asegura que los últimos 4 años han sido los más cálidos registrados en la historia (Los últimos cuatro años, los más cálidos registrados, 2019); esto se relaciona con los altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El Calentamiento Global, es hasta el momento el desafío más importante que la sociedad actual posee; nos enfrentamos a un mundo con necesidades energéticas crecientes y a su vez a un sistema energético, que para cumplir éstas necesidades genera un alto impacto ambiental; reflejándose en múltiples catástrofes naturales alrededor del planeta y escasez de recursos. De no modificar nuestro comportamiento con respecto a este desafío, las consecuencias pueden ser fatales para la especie humana.

Uno de los principales causantes del Calentamiento Global, son los GEI resultantes de la quema de combustibles fósiles —en especial la producción de CO₂— que son la principal fuente de energía actualmente; por lo que una de las soluciones más rentable para la disminución o control de este gran desafío, es la transición energética a fuentes de energía renovable (eólica, biocombustible, hidráulica, solar y geotérmica). Siendo la generación de electricidad uno de los pilares para dicha transición, por el hecho de considerarse una de las

industrias más contaminantes; el estudio que aquí se presenta, será dedicado únicamente a la transición energética de esta área.

La transición energética es un tema que se ha llevado a consensos de tipo mundial a través de distintos acuerdos, en los que se busca dar solución al problema; esto ha unificado las políticas ambientales, direccionando en sentido correcto los esfuerzos de los países que forman parte de los acuerdos. Además estos acuerdos comprometen a sus integrantes a tener una meta relacionada al uso de estas energías; sin embargo, el desarrollo de las energías a nivel mundial es distinto según la zona y la población ¿Por qué existe una inequidad en el desarrollo de las energías sustentables? ¿Qué factores dentro de un país influyen dicho desarrollo?

El caso de México es un caso de estudio, a pesar de contar con una gran cantidad de recursos para el desarrollo de la energía renovable (Villareal & Tornel, 2017) se ha demostrado un crecimiento lento en cuestiones de materia ambiental ¿Qué lo ocasiona? ¿Cómo podemos mejorarlo? ¿Qué panorama le espera en el futuro a las energías sustentables en el país?

A pesar de que existen registros de que este tema se ha colocado como uno de los más importantes en la agenda a nivel nacional, es importante que las actividades que lo rodean sean de verdadero impacto positivo en la meta final. Este trabajo pretende recolectar información sobre la transición energética y las preguntas antes planteadas, con la intención de generar acciones y recomendaciones para enfrentar el desafío que el calentamiento global representa para la sociedad mexicana.

Capítulo 1. Electricidad: definiciones referentes al tema.

La energía se define como la capacidad que posee la materia para producir calor, trabajo en forma de movimiento, luz, crecimiento biológico, etc. Como el significado bien lo menciona, los distintos tipos de energía se aprovechan para cumplir distintas necesidades; existen energías de tipo primarias, que son aquellas que no requieren una transformación para ser utilizadas, como es el caso de la energía mecánica generada por el caminar del ser humano o de un animal; también hay energías de tipo secundario, estas energías a diferencia de las primarias, requieren una transformación previa a su uso como es el caso de la electricidad.

1.1 Electricidad

La electricidad ha resultado ser un catalizador del desarrollo urbano, encontramos electricidad en la mayoría de las actividades humanas actuales; sin embargo, su transformación generalmente implica el uso de combustibles fósiles y por ende la generación de emisiones de distintos gases, que resultan dañinos para el medio ambiente. El incremento en el uso de electricidad, así como la evidencia de los altos niveles contaminantes en su generación, la posicionan como una de las industrias más contaminantes en la actualidad; por esa razón se ha señalado en distintas ocasiones que la transición energética en la creación de electricidad, es indispensable para cumplir con la meta de limitar el calentamiento global, con esto en mente el estudio se dedicará a la transición energética en la generación de electricidad.

1.1 Conceptos relacionados a la energía eléctrica

Demanda energética

Se conoce como demanda energética a la energía necesaria para satisfacer necesidades de una población. Esta demanda está condicionada por distintos factores que la convierten en una variable volátil según la hora del día, como el uso doméstico en las noches o el uso industrial y empresarial en el día; el cumplimiento satisfactorio de la demanda energética de un país resulta esencial para su desarrollo.

La electricidad como forma de energía no se puede almacenar en grandes cantidades, por esta razón la misión principal de los organismos de Control Operativo del Sistema Eléctrico, es el acoplamiento preciso de tiempo real de la generación y el consumo. Satisfacer la demanda implica tomar en cuenta la particularidad de la generación eléctrica antes mencionada, por lo que se deben combinar distintas formas de generación según corresponda (C. N. D. C. Energí-a, 2018).

Oferta total energética primaria

Se define como la producción de energía más la importación menos la exportación y las pérdidas y las variaciones de los inventarios. Incluye la sumatoria de las fuentes de energía que se obtienen de la naturaleza, ya sea de manera directa (energía hidráulica o solar), luego de un proceso de extracción (petróleo, carbón mineral, geotermia) o mediante la fotosíntesis (leña y demás combustibles vegetales). (SEMARNAT, 2010)

Factor de carga

Como se mencionaba la demanda presenta un comportamiento que obedece a distintos factores, por lo que resulta volátil según la hora del día, para su satisfacción se utilizan distintos

tipos de energía. Para clasificar las distintas ofertas energéticas de manera técnica se utiliza el factor de carga de capacidad que se refiere al porcentaje de horas en las que una planta trabaja a su potencia máxima.

Matriz energética

Se define como la combinación de distintas fuentes de energía primaria disponible y utilizada para satisfacer la demanda energética de una zona geográfica determinada. Una matriz de energía que distribuye de manera diversa el uso de energías —incluyendo las energías renovables—, facilita a un país independencia económica. Hasta hace algunos años, en su mayoría las matrices energéticas de los países estaban basadas únicamente en combustibles de tipo fósil; con el paso del tiempo, necesidad y auge de las energías renovables las matrices cada vez distribuyen un mayor porcentaje al uso de estas energías (Los hidrocarburos son nuestra principal fuente de energía, 2015).

Es importante remarcar la diferencia entre una matriz energética y una matriz eléctrica, siendo que el primer caso abarca la demanda energética completa incluyendo las combinaciones de distintas fuentes de energía; mientras que una matriz eléctrica únicamente hace referencia a la demanda eléctrica (todo uso que esto implique) o en otras palabras al índice de consumo de energía eléctrica, limitándose al sector residencial —calefacción, aire acondicionado, abasto de agua, cocina— y el sector industrial —accionamiento de motores, obtención de calor o frío— y transporte ferroviario.

Las matrices energéticas y eléctricas cambian de composición según el país, esto se debe en su mayoría a factores de disponibilidad de recursos energéticos y la posibilidad de ser



Fig 1. Variación del consumo mundial de energía 2018 vs 2017. Fuente: Renewable Energy Institute

importados, la demanda de energía y la posibilidad de generación, decisiones de carácter político, entre otros.

En la Fig.1 podemos observar que el consumo energético se modifica, aumentando con velocidad, en especial para el caso de las energías renovables.

1.1.2 Generación de energía eléctrica

La energía eléctrica es el insumo primario para realización de actividades productivas y también es ampliamente utilizado como bien de consumo final, por lo que la producción de la electricidad y todos los factores derivados de la misma son elementales en la calidad de vida de una población. La energía eléctrica se obtiene en su mayoría de la conversión de movimiento en un generador para luego ser distribuida por medio de transformadores hasta su destino. Aunque el funcionamiento esencial de las centrales generadoras es el mismo, existe una diferencia que las categoriza según el tipo de fuente que utilizan, principalmente divididas en fuentes a partir de recursos no renovables y renovables, siendo las primeras fuentes aquellas que se terminan y toman un tiempo largo en restablecerse (ej. petróleo, carbón y gas natural), mientras que el segundo tipo de fuente energética se restablece en corto tiempo tomando como base el tiempo de vida humana, por lo que su regeneración sucede antes de ser totalmente consumidos (ej. sol, aire, etc) (Smil, 2010).

En general las fuentes no renovables —combustibles fósiles, en su gran mayoría— se utilizan en centrales termoeléctricas, con sus respectivas variaciones según el combustible

utilizado; ocupando un mismo principio, que consiste en generar algún fluido (vapor o gas) que impulse una turbina que a la vez acciona un generador acoplado a ésta. En algunos casos las centrales de energía renovable, también conocida como energía limpia —hidroeléctricas, eolieléctricas y geotérmicas— ocupan el mismo principio; mientras que el caso de la energía solar es distinto pues la radiación solar se utiliza para generar electricidad a través de calor o bien aprovecha los corpúsculos constituyentes de la luz en el efecto fotovoltaico.

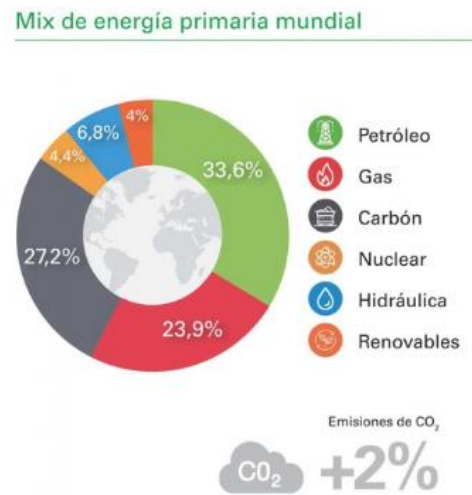


Fig. 2. Composición de la matriz energética 2018- Fuente: IEA

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía en 2018 el 84.7% de la energía producida a nivel mundial era generada a partir de procesos convencionales que implican el uso de combustibles fósiles, mientras que el resto provenía de fuentes renovables.

En la Fig. 2 se puede observar que en este año, la mayor producción de energía provenía de fuentes de tipo fósil, seguidas por la energía nuclear. La Fig. 2 representa la composición del sector energético a nivel global, sin embargo se asemeja a una gran cantidad sectores nacionales exceptuando algunos países como Nueva Zelanda y Costa Rica que cuentan con matrices energéticas en donde las energías renovables tienen más presencia que cualquier otro tipo de energía.

1.2 Fuentes tradicionales de energía

También conocidas como fuentes de energía no renovable, son las unidades de generación nuclear así como todas las unidades que generan energía eléctrica por medio de

combustible fósil, usualmente las centrales dedicadas a ello cuentan con captura y confinamiento de CO₂.

1.2.1 Combustibles fósiles

Se entiende por combustible fósil los hidrocarburos (petróleo y gas) y al carbón, recursos que se formaron a partir de materia orgánica proveniente de biomasa (plantas, microorganismos, bacterias o algas) enterrada bajo capas de sedimentos, durante miles de millones de años en condiciones anaeróbicas que impiden descomposición. A pesar de conocer la existencia de los combustibles fósiles desde hace bastante tiempo, es hasta la invención de la máquina de vapor que se comenzó a utilizar el carbón; mientras que el petróleo tuvo su auge con la invención del motor de combustión interna.

Carbón

Es una roca sedimentaria formada por carbono mezclado con otras sustancias. En la actualidad, a nivel mundial se emplea principalmente para la generación de electricidad.

Petróleo

Es una mezcla de hidrocarburos sencillos y algunos más complejos —de hasta 40 átomos— acompañado de elementos como azufre, oxígeno, nitrógeno. Se caracteriza por su gran densidad energética, su facilidad de transporte y almacenamiento; siendo la materia prima fundamental para la industria petroquímica, en la que se producen plásticos, cosméticos, tejidos sintéticos entre otras cosas.

Gas natural

Es un hidrocarburo compuesto principalmente por metano, que tiene un origen asociado al petróleo y comparte muchas de sus propiedades energéticas; aunque, es más fácil de almacenar y transportar.

1.2.2 Tecnologías convencionales de generación de energía eléctrica

El grupo de tecnologías convencionales generadoras de energía se integra por las unidades y centrales que generan energía eléctrica a partir del uso de combustibles fósiles; este grupo está compuesto por las siguientes tecnologías:

-Ciclo combinado: la generación de electricidad por medio de gas natural en una central de ciclo combinado es similar a la de turbinas con gas, se lleva a cabo mediante dos ciclos termodinámicos (Brayton y Rankine) consecutivos; en este modelo los gases de escape de la turbina son aprovechados en una ladera de recuperación para generar vapor e impulsar la otra turbina, siendo este un proceso continuo que presenta una eficiencia de 1.4 veces mayor a la de una termoeléctrica convencional.

-Termoeléctrica convencional: el principio de generación en una central de este tipo es la conversión de agua a vapor que se expande a una turbina provocando un movimiento mecánico que se convierte en electricidad dentro de un generador. Estas centrales utilizan una amplia variedad de combustibles como: carbón, gas natural y combustóleo; con una eficiencia 73% menor a la de un ciclo combinado y es considerada una central con altas emisiones contaminantes.

-Carboeléctrica: cuenta con carbón como fuente principal de energía, siendo esta fuente la de mayor uso en el mundo. Este tipo de central es muy similar a una termoeléctrica, sin embargo requiere de un generador más complejo al ser necesaria una superficie de transferencia de calor mayor, además de que el carbón requiere un proceso de pulverizado y secado. Cuenta con costos bajos de producción y mayor eficiencia que las termoeléctricas, sin embargo tiene un nivel alto de emisiones.

-Lecho fluidizado: esta tecnología permite el uso de diversos combustibles sólidos, solos o combinados como: carbón, biomasa, lodos, residuos municipales, residuos agrícolas o coque de petróleo. Este proceso es igual de eficiente que las carboeléctricas y se usa con la intención de reducir emisiones y aprovechar desechos; es un proceso de costos bajos pues implica unidades de menor tamaño.

-Turbo gas: es utilizada únicamente para cumplir las horas punta (horas de mayor demanda energética) por su baja eficiencia. Está conformada por un compresor, una cámara de combustión y una turbina. El proceso inicia con la compresión de gas que posteriormente se somete a combustión y enfriamiento; la liberación de energía durante el proceso genera movimiento en la turbina, que es convertido en electricidad con un generador. Usualmente este proceso es el menos eficiente de todos.

-Combustión interna: es un proceso caro; es análogo a las centrales térmicas y usa como combustibles gas natural, gases de petróleo crudo o biogás. La emisión promedio de estas plantas únicamente permite su uso en emergencias u horas punta.

*Ver Anexo 1 para explicaciones técnicas

A continuación se presenta una comparación entre las emisiones de los distintos tipos de central convencional.

Tabla 1. Comparación de emisiones por central. Fuente: IAEA (Organización Internacional de Energía Nuclear, por sus siglas en inglés)

Tipo de central	Cantidad de CO₂ kg/MWh
Ciclo combinado	352
Termoeléctrica	640
Carboeléctrica	603
Turbo gas	510
Combustión interna	692

Como se puede observar a partir de la tabla comparativa, la central que produce menos emisiones es la central de ciclo combinado.

1.2.3 Energía Nuclear

La energía nuclear se origina de la ruptura de un átomo, en un reactor que calienta agua hasta vaporizarla para que este vapor se encargue de mover una turbina y generar electricidad. Este sistema de producción no genera ningún tipo de emisión, puesto que no implica el uso de combustibles fósiles. A pesar de ser un sistema altamente investigado y que podría considerarse convencional, es muy distinto a todos aquellos que funcionan con combustibles fósiles. Entre sus ventajas, se encuentran: el combate al cambio climático y suministro energético confiable, entre otros.

Aunque este tipo de energía podría resultar una excelente opción de suministro, es considerada una energía poco segura por haber sido utilizada para generar armas de guerra; lo que le dio una mala publicidad; además, de ser protagonista de catástrofes como el de Chernóbil que costó la vida de miles de personas. La energía nuclear cuenta con muchas ventajas sin embargo es una energía que requiere mucho en términos de seguridad.

1.3 Fuentes renovables de energía

1.3.1 Hidráulica

Desde hace miles de años se utiliza el flujo de agua para derivarse en energía, a esto se le conoce como energía hidráulica. Esta forma de energía, es a la fecha una de las más efectivas en relación a sus costos de generación; además, de ser una excelente opción para comunidades en ubicaciones remotas. Por esa razón, esta forma de generación es muy popular en varios países, como el caso de Noruega, en donde el 99% de la energía es hidroeléctrica (Hydropower, 2019).

El principio bajo el que las plantas hidráulicas funcionan, es también el de convertir energía mecánica en electricidad. El agua mueve una turbina, que transmite energía al generador que la convierte en electricidad. Hay dos tipos de plantas hidráulicas, aquellas que cuentan con una reserva de agua que se reutiliza para dar función a la planta o aquellas que no cuentan con dicha reserva; usualmente el segundo tipo se apoya del flujo de un río para generar energía mecánica.

1.3.2 Eólica

Esta tecnología ha sido investigada desde hace más de 100 años en lugares como EUA e Inglaterra, en donde después de los generadores eléctricos los ingenieros intentaron transformar el movimiento proporcionado por el viento en energía; pero, fue en Dinamarca donde la primera turbina de aire fue inventada. Posterior a esto la energía eólica ha tenido un rápido desarrollo, la capacidad de este tipo de energía ha incrementado un aproximado de 75 veces desde sus inicios y de 2003 a 2009 el uso de energía eólica aumentó el doble (Wind energy, 2019).

Este tipo de energía puede ser utilizada en cualquier área que cuente con un caudal grande de viento; sin embargo, se ha demostrado un mejor funcionamiento en áreas remotas. El principio de generación también convierte energía mecánica en electricidad, en este caso la cantidad de energía recolectada depende del tamaño de la turbina y longitud de sus aspas. La potencia nominal de las turbinas ha tenido un aumento notable, con capacidades offshore que pueden alcanzar hasta los 8MW con un rotor de hasta 164 metros (World gross electricity production, by source, 2018 – Charts – Data & Statistics, 2017).

1.3.3 Bioenergía

La bioenergía es la energía derivada de la conversión de biomasa que por medio de distintos procesos es transformada para producir de forma directa electricidad o para generar calor, dicha energía puede ser utilizada directamente como combustible o transformada a líquidos y gases que a su vez se utilizan en la generación de electricidad a través de un proceso convencional (S. Energía, 2016). Las tecnologías de la bioenergía son variadas y con distintos grados de madurez, y tienen aplicaciones en contextos tanto centralizados o descentralizados (Edenhofer, O et al., 2018).

Cerca de un tercio de las energías renovables alrededor del mundo involucran bioenergía lo que significa el 10% del consumo total de energías y el 1.4% de generación global de energía en 2015. En su vasta mayoría esta energía es utilizada en países populosos como Brasil, India y China, siendo Brasil el líder en biocombustible líquido (Bioenergy, 2019).

1.3.4 Solar

La energía solar se refiere al aprovechamiento de energía que proviene del sol a partir de la radiación emitida por éste; dicha radiación es transformada en energía térmica o eléctrica

mediante distintos procesos. El elemento por excelencia de captación es el panel solar, este panel funciona de manera distinta según el mecanismo de aprovechamiento que puede ser elegido entre:

-Captadores solares térmicos: también son conocidos como concentradores solares; este tipo de panel solar aprovecha la radiación para calentar agua. Son espejos alineados que concentran los rayos solares por reflexión. Existen varios tipos de geometrías, que elevan la temperatura de fluido transformando energía solar en energía térmica; es así como a partir de un ciclo Rankin es posible convertir la energía térmica en energía eléctrica (Edenhofer, O et al., 2018).

-Módulos fotovoltaicos: se aprovecha el efecto fotovoltaico para generar una corriente eléctrica continua, que al ser convertida en alterna puede suministrar electricidad a instalaciones autónomas.

1.3.5 Geotérmica

Energía renovable que aprovecha el calor del subsuelo para climatizar u obtener agua caliente, a pesar de ser una de las energías renovables menos conocida y utilizadas aún resulta impresionante su funcionamiento. Fue utilizada por primera vez en Suecia como consecuencia de la crisis climática.

Por medio de bombas de calor geotérmicas se emplea el calor contenido en el subsuelo para distintos fines. Por lo tanto se entiende que se extrae o se cede calor a la tierra según sea el caso por medio de paneles enterrados en el subsuelo por los que circula una solución agua con glicol. Los recursos geotérmicos de alta temperatura (superiores a los 100-150°C) se aprovechan principalmente para la generación de electricidad, mientras que aquellos de menores temperaturas se utilizan para dar servicio al sector industrial y residencial.

Capítulo 2. La transición energética

Hace unos 4,540 millones de años la tierra era un lugar gélido cuyas condiciones no permitían la existencia de vida, sin embargo con el paso de los años la tierra alcanzo la temperatura idónea para que la primeras células se reprodujeran dando paso así a las distintas formas de vida que ahora conocemos; el alza periódica de la temperatura fue un fenómeno estudiado por muchos científicos quienes concluyeron que la concentración de ciertos gases – CO₂ y algunos otros – que se producían en distintas situaciones naturales como la erupción de volcanes, funcionaban como regulador térmico del planeta, siendo que dichas emisiones permitían conservar un porcentaje de la energía de radiación solar entrante —este efecto es mejor conocido como efecto invernadero— (Smil, 2010).

Fue alrededor del siglo XVIII cuando se empezó a notar un alza irregular en la temperatura del planeta, fenómeno que se relacionó con la revolución industrial y la producción y uso de petróleo y combustibles fósiles; pronto los científicos identificaron que el rápido crecimiento de la sociedad y la gran demanda por energía tenían un efecto directo en la temperatura del planeta. (Smil, 2010).

A partir de distintas observaciones se originaron diversos estudios de concentraciones de CO₂ en donde se demostró la correlación de la emisión de dicho gas con actividades humanas. Aunque, es bien sabido que el CO₂ es necesario en cierta concentración (200 ppm) para mantener la temperatura del planeta y evitar su congelamiento. También se sabe que al ser un regulador térmico, su incremento implica también el incremento de la temperatura del planeta; afectando las condiciones del ecosistema existente, fenómeno conocido como cambio climático. También se supo por distintas investigaciones, que a una concentración de 350 ppm

la atmósfera perdería su estabilidad térmica; lo que implicaría ondas de calor resultantes en catástrofes, actualmente se tiene una concentración de 405 ppm y al pasar el límite ha sido posible observar las catástrofes predichas.

Tabla 2. Comparación concentración de GEI preindustriales-siglo XXI. Fuente: Roa D

Tipo de GEI		Concentración época preindustrial (PPMV)	Concentración en 1998 (PPMV)
Dióxido de carbono (CO₂)		280	365
Metano (CH₄)		0.7	1.75
Óxido nitroso (N₂O)		0.27	0.31
HFC5	HFC₂₃ (CHF₃)	0	0.000014
	HFC_{134 a} (CHF₃)	0	0.00000075
	HFC_{152 a} (CH₂CHF₂)	0	0.0000005
PFC5	CF₄	0.0004	0.00008
	C₂F₆	0	0.000003
SF₆		0	0.0000042

*PPMV (partes por millón en volumen)

Distintas organizaciones han declarado a la tierra en contingencia ambiental; ésta latente preocupación ha ocasionado que un gran número de países se preocupen por el tema, organizando consensos de talla mundial para tratar distintas soluciones. Siendo que el sistema energético es el mayor contribuidor a las emisiones de GEI, la de-carbonización del mismo es clave para limitar el calentamiento global a 2 °C, haciendo evidente la necesidad de una transición energética.

La transición energética, es un cambio gradual, de acuerdo a la forma que tiene una población de aprovisionarse de la energía primaria que requiere para su funcionamiento (Smil, 2010). Dicho aprovisionamiento hace referencia a los distintos tipos de combustible, así como

a las máquinas motoras capaces de extraer la energía de esos combustibles. Como antes se mencionó, la energía forma parte esencial de la funcionalidad de la sociedad, implicando así también actividades económicas, por lo que dichas actividades también forman parte de la transición energética. Lo que se busca hoy en día es que la energía utilizada sea menos contaminante que el uso de combustible fósil, siendo el caso por ejemplo de las fuentes de energía renovable.

2.1 Importancia de la transición energética

En el pasado existían muchas economías dependientes de la energía fósil, sin embargo la urgente necesidad de una transición energética ha modificado ese número, dejando entre ver que una economía independiente y diversa en términos energéticos, da mejores resultados que la situación adversa. Los cambios en el sistema energético, traen consigo ventajas como generación de empleos, incremento de independencia energética, generación de ahorros e ingresos; puede incluso, traer beneficios directos o indirectos a la salud. Aunque aún es latente el miedo de que la transición energética sea un proceso caro para los países que necesitaran ceder mucho en el plano social-económico para lograr el proceso, existen numerosas asociaciones que han demostrado que la transición energética también implica una numerosa cantidad de beneficios en dicho plano.

2.1.1 Bienestar socio-económico

En una medición de huella ambiental a nivel socio-económico realizado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, por sus siglas en inglés) se señala que, interacciones sinérgicas entre la economía de un país y su transición energética son necesarias para que dicho proceso funcione. Además, se garantiza que las actividades que se asocian con la misma generan un mejor rendimiento al país. A su vez la asociación considera que para

2050 la de-carbonización del sistema incrementara en un 15% el bienestar social, 1% el Producto Interno Bruto (PIB) y 0.1% la tasa de empleo (Rethinking energy, 2017)

Existen algunos parámetros que se vigilan como métrica del desarrollo en la transición energética, a continuación se hablara de algunos de ellos:

Producto Interno Bruto (PIB)

Adicional a alcanzar las metas propuestas para limitar el calentamiento global, las políticas que apoyan el uso de energías renovables también traen consigo el incremento en ciertos indicadores macroeconómicos como el caso del PIB; por lo que se calcula que: si el control de emisiones y la industria relacionada a ello se desarrolla según lo establecido en el Tratado de París, podría implicar un aumento de 0.8% para este indicador. Esto se debe a que la inversión en energías renovables implica estimulación en la actividad económica de un país, como lo es cualquier tipo de consumo e inversión en la balanza del mismo.

En la actualidad son países como China, Brasil, EUA, India y países de la Unión Europea los que se encuentran como punteros en el área y se han visto gratamente beneficiados por lo mismo. Aunque, se tiene registro de que el uso de energía renovable puede impactar negativamente en el PIB de aquellos países cuya economía se basa en la producción y exportación de combustibles de tipo fósil, IRENA lanzó un estudio (Fig 3) en el que demuestra que la mayoría de los países se verían beneficiados por la transición energética, propiciando un efecto positivo en general para la economía mundial, además de que dicha transición trae múltiples beneficios de otro tipo.

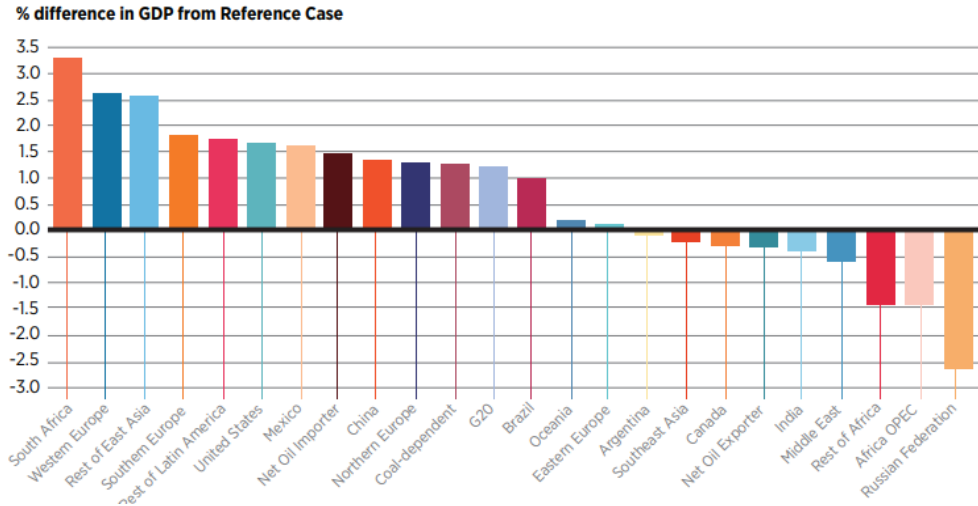


Fig 3. Escenario global de predicciones basadas en los NCD del acuerdo de Paris para el PIB en 2050- Fuente: IRENA Benefits statistics.

Empleo

Aunque, el PIB es una métrica económica importante, en el plano social hay métricas de alto valor; como es el caso de la tasa de empleo, siendo que a esta métrica se le adjudica el comportamiento de un consumidor y como resultado la salud local y nacional de la economía.

Las energías renovables proveen una cantidad significativa de empleos anualmente, tanto directamente como indirectamente. En su revisión anual, IRENA descubrió que el sector de energía renovable en 2019, había empleado a cerca de 11 millones de personas; mientras que, en 2017 se emplearon aproximadamente 10.03 millones. El aumento en la cifra según los años, se debe al aumento de inversión al desarrollo de las tecnologías, a su vez dicha inversión ha ocasionado: un rápido decrecimiento de costos, avances tecnológicos y mejoras en la gestión política de las mismas.

Pese a que, las cifras alrededor del mundo se mantienen constantes, los beneficios que las energías renovables traen a la economía de un país, dependen de factores como las políticas

de desarrollo nacional e industrial; incluyendo los cambios que el país aplica en su cadena de suministro y patrones de comercio, así como las posibles tendencias del mercado.

Tabla 3. Composición de la tasa de empleo por energía según la fuente en 2019. Elaboración propia - Fuente: Renewable Energy and Jobs

Tipo de energía	Millones de personas empleadas en el mundo en 2019
Energía solar	3.7
Biocombustibles	2.1
Energía eólica	1.2
Energía hidráulica	2.1
Otras energías renovables	1.9

Incremento del acceso a energía

La energía es un requerimiento vital; sin embargo, su vulnerabilidad a las alzas de precio, la falta de modelos energéticos según la zona y el difícil acceso a la misma han ocasionado el rezago de zonas rurales, aportando a la desigualdad que afecta a una gran cantidad de países. Por lo que se entiende, que la desigualdad de acceso a energía es un catalizador de la desigualdad social.

El acceso equitativo y seguro a la energía son claves para que los distintos sectores sociales crezcan. Esto se puede lograr de una mejor manera cuando un país cuenta con una matriz eléctrica distribuida de manera diversa. Las inclusión de energías renovables a la matriz promueven una diversidad en la que existen varias opciones de energía que no sólo funcionan en zonas remotas, sino que incluso funcionan mejor en dichas zonas; como es el caso de la energía solar y eólica, que no sólo son el tipo de energía renovable más desarrollada, si no que han demostrado un gran funcionamiento en zonas remotas con condiciones propicias para el tipo de energía.

Salud

Aunque de manera indirecta, la disminución de emisiones propiciada por las energías renovables que resulta en una mejor calidad en el aire, tiene impacto en la salud de una población. Según datos de la Organización Mundial de Salud los combustibles fósiles están relacionados con 2/3 de la tasa de mortandad y se estima que la limitación de dichas emisiones podría evitar cerca de 4 millones de muertes prematuras por año (World Health Organization: WHO, 2018).

2.1.2. Bienestar ambiental

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, lo que se consideraba un aumento de emisiones globales de CO₂ en 2015 tuvo un desacelere claro. De cualquier manera, en su reporte “Emissions Gap Report 2019” el Programa Ambiental de las Naciones Unidas alertó que si la única referencia es el Acuerdo de París los compromisos ahí establecidos no alcanzarán para limitar las emisiones.

En el mismo reporte se asegura que la única manera de disminuir el cambio climático y lograr la preservación de las especies habitantes de la tierra, es decrecer las emisiones de GEI a 25 Gt para 2030 —que de seguir el patrón actual llegarían hasta 56 Gt en 2030— este objetivo se logrará sólo si las emisiones se reducen un 7.6% por año. Esto implica que si el objetivo anual no se cumple los requerimientos para el año siguiente irán en aumento.

Es evidente que las acciones actuales no han sido suficientes y que es imperante la necesidad de acciones más efectivas. Con esto en mente se remarca la importancia de una transición energética a un sistema que produzca una menor cantidad de emisiones; como se ha

mencionado, la manera de lograr esto es diversa pero una de las mejores opciones es el impulso de energías renovables libres de emisiones.

2.2 El Trilema Energético Mundial

Actualmente los sistemas de generación y producción de energía eléctrica son altamente dependientes de los combustibles fósiles; sin embargo, la situación medioambiental ha resultado en la necesidad de una matriz energética plural y más eficiente, articulada para la lucha contra el cambio climático y la reducción de GEI. Sin embargo, para que la transición energética de combustibles fósiles a fuentes renovables sea exitosa —tomando en cuenta la importancia actual de la energía eléctrica— las políticas energéticas que la soporten, deben de aspirar a satisfacer las demandas sociales relativas al sector, siendo que la satisfacción de demanda antecede jerárquicamente en importancia a cualquier daño medioambiental ocasionado por la producción de energía. (Sociedad, 2017)

Los desafíos que el sector energético enfrenta, dependen del contexto social, geográfico y económico. Siendo que, siempre se priorizara el acceso a fuentes seguras y fiables de energía; una vez que el suministro sea garantizado, los objetivos del sector pivotan en torno a la mejora en la relación calidad-costos y su impacto ambiental (Sociedad, 2017).

Con la intención de aunar y equilibrar los factores de sostenibilidad ambiental, garantía de suministro y equidad energética el World Energy Council surgió con el concepto de “Trilema Energético Mundial” (World Energy Trilemma Index, 2018) para así determinar una directriz a la transición energética.

2.2.1 Sostenibilidad ambiental

La sostenibilidad refiere a la posibilidad de una acción de prolongar de manera indefinida una actividad, mientras que el término de sostenibilidad ambiental pone en énfasis que una actividad además de ser capaz de prolongarse de manera indefinida debe también evitar destrucciones al entorno y recursos. Siendo que se ha demostrado que la existencia de combustibles fósiles es finita su producción no es sostenible; sabiendo que las fuentes de energía renovable no son finitas por ello se considera que la producción de éstas si es sostenible y además al evitar emisiones de GEI y procurar el medio ambiente se considera que su producción representa sostenibilidad ambiental.

Política internacional ambiental.

La evidente elevación de temperatura, ocasionada por emisiones resultantes de actividades humanas; pronto se convirtió en una problemática global que interesó a numerosos países. A raíz de las distintas investigaciones científicas, en las que se señalaba la causa de la problemática, se decidió hacer consensos de opinión para generar estrategias de combate, a continuación hablaremos de las más relevantes:

Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático

En 1992, se celebró en Brasil la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo; en la que se aprobaron 3 tratados internacionales. Entre éstos se encontraba la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), propuesta con el objetivo de estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera sin perjudicar el suministro de alimentos y el desarrollo económico de una población. Aunque, en la convención se acordó no delimitar la cantidad de GEI que podría resultar dañina —por carecer de suficiente información científica— el tratado, contenía el marco general de las negociaciones climáticas, acentuando la necesidad de acciones preventivas para disminuir el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente. A partir de la línea de pensamiento

en la que los participantes del tratado estaban obligados a actuar en beneficio de la seguridad de la humanidad, han surgido distintas actualizaciones e instrumentos de complementación

Protocolo de Kioto

Uno de los instrumentos que suceden a la CMNUCC es el Protocolo de Kioto, que se firmó en 1997. Su objetivo, era el compromiso a disminuir un 5% las emisiones registradas en 1990; esto se haría por medio de acciones individualizadas según el nivel de desarrollo del país, por lo que el protocolo también incluía una lista de estos compromisos vinculantes. Este protocolo fue el primero en reconocer que los principales emisores de GEI eran los países punteros en desarrollo y también estableció estrategias en las que los países desarrollados apoyaban a la transición de otros países con menor índice de desarrollo. Es importante mencionar, que el incumplimiento de los compromisos haría al país responsable acreedor a distintas multas según el caso.

En este protocolo, también se incluyó como estrategia la puesta en marcha de mercados internacionales de carbono. El funcionamiento de estos mercados se basa, en el intercambio de *permisos de derecho de emisiones* —permisos que autorizan a su poseedor a emitir GEI sin penalización alguna—, estos permisos son distribuidos a los distintos países con compromisos vinculantes; el número que obtienen depende de las acciones correctivas que han realizado y posterior a la obtención estos países pueden distribuir dichos permisos entre el resto de los países, quienes los reparten entre sus distintos sectores. Esta estrategia ha sido altamente criticada por el uso abusivo de permisos, así como el constante reclamo de la necesidad de una cantidad mayor de permisos de emisión.

El protocolo entró en vigor en 2005, con el apoyo de 140 países —36 de los 38 países industrializados faltando únicamente Australia y EUA que era el principal emisor en aquella época—. Para el segundo período del protocolo (2013-2020) una gran cantidad de países habían abandonado el mismo, argumentando que no sostenía los objetivos principales. La única economía industrializada restante era la Unión Europea, quien puso en marcha el Paquete de Energía proponiendo una reducción de emisión de aproximadamente 20% con respecto a 1990. En general se puede concluir que en la primera emisión del tratado las metas se cumplieron siendo únicamente 9 países los que rebasaron su nivel de emisiones y por menos del 1%.

Acuerdo de Paris.

Este acuerdo nació con la intención de reforzar lo establecido en acuerdos anteriores, fue firmado el 12 de diciembre de 2015 en el marco de la conferencia COP 21. Por medio de éste, se intentó detener el incremento de temperatura global a un máximo de 2°C para finales del siglo XXI. Ahora bien, me parece importante remarcar que, se llegó al límite propuesto (2°C) después de varios consensos e investigaciones, en las que se concluyó que dicho incremento resultaría el máximo permitido en el cual los efectos causados por el cambio climático permitirán la vida; una buena analogía es comparar este límite con el límite de velocidad de una carretera, si un conductor conduce bajo el límite de seguridad no se garantiza que no sufrirá algún percance, sin embargo, conducir sobre el límite incrementa la probabilidad de un accidente así como la gravedad del mismo.

Siendo que este tratado es actualmente la base de la gestión ambiental global considero importante profundizar en los 3 objetivos principales del mismo.

I. Limitar el aumento de temperatura global a 2°C

Para lograr este objetivo, el tratado basa sus estrategias en las emisiones globales; señalando que dichas emisiones deben disminuir, incluso considerando que este cambio sea gradual para los países en desarrollo. De la misma manera señala que para lograr el objetivo final, las emisiones deben ser neutralizadas, de manera que cualquier tipo de emisión debe ser capturada y absorbida antes de impactar con el medio ambiente.

A diferencia de tratados y acuerdos pasados, el Acuerdo de París también compromete a las distintas naciones a tomar acciones para enfrentar la problemática; ahora se exige que las naciones generen y presenten un plan de mitigación, con la intención de que cada nación lo adapte a sus necesidades y formas de desarrollo y también para que las acciones se redacten de manera puntual como accionable. Además, el tratado propone balances mundiales periódicos, en los que se evalúe el avance por nación, respecto a sus planes de mitigación con la intención de ofrecer una retroalimentación, proponiendo el 1er balance en 2023.

II. Segundo objetivo

En este apartado el Acuerdo de París también reconoce que los efectos del cambio climático son reales y visibles, por lo que la respuesta de la sociedad a los mismos es imperante; esto con la intención de proteger a las personas, medios de vida y ecosistemas. Por primera vez en un tratado, se hace referencia a las pérdidas actuales generadas por la problemática del cambio climático y se pretende preverlas y reducirlas, para ello se propone la transferencia tecnológica que constituye una serie de directrices, para apoyar a los objetivos principales del tratado.

III. Tercer objetivo

Por último, el acuerdo toca el tema financiero enalteciendo la necesidad de aportar flujo financiero al desarrollo de tecnologías y sistemas que prioricen los objetivos del acuerdo; para ello se proponen los Mecanismos Financieros de la Convención, que correrán a cargo de los países desarrollados para incentivar al resto. Si bien es cierto, que el porcentaje de disminución al que un país se compromete depende de factores variados, como su nivel de desarrollo y la cantidad de emisiones de GEI, en general se considera que la transición energética está influida ampliamente por las políticas que el país disponga, así como las tendencias de su economía.

Instrumentos de apoyo a los objetivos del Acuerdo de París

a. Contribuciones nacionales

También conocidas como NDCs (contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional, NDCs por sus siglas en inglés), dependen de cada país pero en su mayoría constituyen objetivos de reducción de GEI por medio de la implementación de energías renovables y la disminución de centrales eléctricas de carbón. Los distintos países optan por referir sus compromisos en disminución de emisiones o en distintas proyecciones con métricas de acuerdo a la referencia; en especial el caso de los países más contaminantes se presenta a continuación:

Tabla 4. Compromiso de reducción para 2030. Elaboración propia- Fuente: Acuerdo de Paris.

País	Cantidad de emisiones en 2014 (Mt)	% del total mundial emitido ese año.	Compromiso de reducción para 2030
CHINA	11911.71	26	20
EUA	6371.1	13	26-28

b. Mercados internacionales de derechos de emisiones

Estos mercados, se implementaron generando un costo a las emisiones para incentivar proyectos limpios. Como antes se mencionaba, la base de los mercados son permisos de emisiones limitados por país que pueden ser intercambiados y distribuidos entre los distintos

sectores. Los mercados son creados por los distintos países y sus políticas dependen de los mismos; sin embargo, siguen una base similar en los objetivos del Acuerdo de París.

2.2.2 Seguridad o garantía de suministro

Según la Agencia Internacional de Energía, define la seguridad de suministro como el suministro asequible y confiable de energía y a corto plazo o la capacidad del sistema energético para satisfacer la demanda energética (World Energy Trilemma Index, 2018).

La seguridad de suministro está altamente relacionada con la diversidad de fuentes de energía primaria; esta diversidad depende del tipo de fuente de energía y su disponibilidad, el país de origen y por último la ruta de abastecimiento de las mismas. En conclusión, al igual que en el caso de cualquier materia prima, la seguridad de las materias primas en este caso también depende de la cantidad disponible y la dificultad de obtención.

La seguridad de suministro, puede encontrar confort dentro de una matriz energética diversa, en la cual de manera rápida se pueda solucionar el desabasto de un tipo de energía con la sustitución de otra o también, si es que el país cuenta con reservas energéticas. Otro punto importante referente a la seguridad de suministro, es el tamaño del mercado energético de un país, siendo que el tamaño del mercado es directamente proporcional a los beneficios que trae a una nación puesto que la competencia energética aumenta la inversión y el flujo de dinero en el sector.

Por último pero no de menor importancia, el suministro energético en una nación es enteramente dependiente de las regulaciones propuestas para el sector; ya que estas regulaciones dirigen el manejo de la energía y recursos y también controlan y proponen soluciones correspondientes a cualquier contingencia relacionada con el tema. Como es de entenderse, el manejo correcto de los recursos está directamente relacionado con la seguridad de suministro de los productos finales —la energía en este caso—.

2.2.3 Competitividad económica.

La competitividad económica de la transición energética sigue los preceptos convencionales de la economía, en la que para un proceso holístico se debe considerar tanto el nivel microeconómico — el cual, estudia el comportamiento de un consumidor individual— como el macroeconómico —que analiza el comportamiento de la economía a nivel internacional o nacional—.

A nivel microeconómico, el precio de la energía es un factor determinante pues es base en la administración familiar y empresarial, no sólo de manera directa en actividades diarias del hogar sino también de manera indirecta al participar en el proceso de producción de bienes y servicios. En caso del uso en el hogar, en que los usuarios de electricidad pagan por su consumo, el aumento de precios implica destinar mayor parte de su presupuesto a este gasto limitando el flujo de dinero en otros sectores; mientras que para el caso de la industria la limitante incluso alcanza a afectar el servicio que pueda dar la misma, así como la demanda de su producto en especial cuando no es un producto de consumo necesario.

Mientras que a nivel macroeconómico siendo parte de una numerosa cantidad de sectores, el sector energético es altamente influyente en demás sectores; por lo que la transición energética, así como cualquier cambio a dicho sector implicara cambios en el resto y de igual forma será necesario ajustar los demás sectores para lograr las metas propuestas.

2.3 Retos y tendencias futuros de las energías sustentables.

2.3.1 Retos.

Como se mencionaba previamente en el capítulo, la transición energética requiere una reestructuración del sector energético; esto traerá un gran número de cambios que exigirán a la sociedad y gobiernos cambios en varios aspectos. Es importante recordar que un sector energético ideal mantiene un equilibrio entre la seguridad, la sostenibilidad y la competitividad energética, por lo que la transición

energética deberá considerar como su mayor reto navegar armónicamente entre estos tres factores y en un plano general se planeta que, los retos principales de la transición energética pueden ser abordados desde la demanda y oferta energética.

Demanda

Como resultado del rápido crecimiento y desarrollo poblacional la demanda energética se ha triplicado en los últimos 50 años; este aumento no ha sido uniforme, incluso se considera que la mitad del aumento se atribuye únicamente al continente asiático —en especial a India y China—. En su trabajo “Nuevas políticas” la IAEA, asegura un desacelere en el crecimiento de demanda energética que para 2040 crecerá un 30% siguiendo patrones geográficos parecidos a los que se observan en la actualidad, esto basándose en la idea de que para 2040 la población mundial habrá aumentado cerca de 70000 millones de personas lo que implicara un proceso de urbanización y crecimiento de ciudades (WEO-2017 Special Report: Energy Access Outlook – Analysis, 2017).

Aunque resulta difícil prever como interactuaran los distintos agentes en una perspectiva futura, es evidente que los principales determinantes de la demanda energética —incremento poblacional y desarrollo— aumentarán; lo que nos permite concluir que el caso de la demanda será el mismo, en especial si se considera que obedeciendo a los compromisos establecidos el aumento de población y desarrollo deberá ir acompañado de un sistema energético equitativo y accesible. Esto confirma, que la demanda energética deberá ser mayor en un futuro; sin embargo, es importante recordar que, siguiendo los compromisos establecidos en el Acuerdo de Paris, la eficiencia energética debería ser incrementada, por lo que es de suponerse que la predicción de un desacelere en el crecimiento de la demanda energética hecho por la IAEA es acertado.

Oferta

Desde esta perspectiva, queda claro que el reto más grande será el de la garantía de suministro; en especial por el hecho de que en la mayoría de los casos las tecnologías relacionadas a las energías

sustentables, aún tienen un largo camino por recorrer, aunando al hecho de que el sistema actual está adaptado para energías originadas por medio de combustible fósiles. Pero es importante resaltar, que los beneficios que la transición energética promete —seguridad de suministro, independencia de la matriz energética y equidad energética— apuntan la balanza a favor de las energías renovables.

Para profundizar en el reto de las energías sustentables con respecto a la oferta, explicaré a continuación las ventajas y desventajas evaluadas desde el factor de carga de las distintas opciones de suministro que se tiene actualmente:

Tabla 5. Tipos de centrales categorizadas por su factor anual de carga. Elaboración propia- Fuente: IEA, 2017

Tipo de carga	Factor de carga anual	Centrales consideradas en ese tipo de carga	Particularidad
Carga base	70-80%	Nucleares Funcionales por medio de Carbono	Cuentan con un alto índice de seguridad de suministro, altos costos y tiempos de encendido
Carga intermedia	40-60%	-Centrales de ciclo combinado -Hidroeléctricas	Cuentan con capacidad rápida de reacción a los imprevistos de cualquier otro sistema
Generación pico	5-15%	-Hidroeléctricas -Algunas otras centrales renovables	-Iniciado y parado rápido
Centrales renovables	Varía según el caso	-Centrales geotérmicas, eólicas y solares	-Son consideradas autóctonas y no gestionables.

Centrales para carga base

Para el caso de las centrales nucleares, se considera que estas centrales son capaces de funcionar a su factor carga por un largo tiempo; además de ser autóctonas —ya que su disponibilidad no depende de terceros actores—, los recursos por medio de los cuales se genera energía no son difíciles de extraer y por ende no impactan en el precio de la misma. Hablando ahora de las centrales térmicas convencionales —que funcionan con carbón— éstas resultan centrales que aseguran el suministro, ya

que el carbón es un recurso presente y bien distribuido; sin embargo, la generación de energía por medio de estas centrales resulta ser altamente contaminante.

Centrales de carga intermedia

Las centrales de ciclo combinado —que representan la mejor opción económica disponible por el momento— además de un alto índice de fiabilidad —que las coloca en una opción de alta disponibilidad y gran opción de oferta—, al ser una alternativa más eficiente que las centrales que funcionan por medio de carbón, se emite una menor cantidad de GEI; por esta razón son identificadas como un mal menor respecto a la sostenibilidad del medio ambiente. Este tipo de central es considerada una buena opción de base en un futuro. Las centrales hidroeléctricas —a diferencia de las de ciclo combinado— no producen emisiones de tipo GEI y en general funcionan con factores de carga de 45-49%, valor que depende del tamaño de la instalación así como el desplazamiento de los recursos hídricos y el alcance u objetivo final del proyecto.

Centrales renovables

Para este tipo de centrales su fuente principal es su mayor ventaja, brindándoles autonomía y a su vez le asegura independencia económica al proceso; aunque, también resulta su mayor desventaja por contar con intermitencia no gestionable resultante del clima. Las centrales renovables resultan variables, ya que sus condiciones de producción pueden sufrir un cambio en cualquier momento, lo que significa un cambio en la cantidad de electricidad generada; por esta razón son consideradas imprevisibles, en especial porque el sistema energético actual se apalanca de la seguridad de suministro; esta característica dificulta el auge de este tipo de energías. Sin embargo, la urgente necesidad de un sistema energético libre de GEI, evidencia la necesidad de adaptar las operaciones a centrales energéticas renovables.

2.3.2 Tendencias.

Energías sustentables

Como se ha evidenciado anteriormente, el sector energético ha atravesado un cambio de paradigmas, que inició con nuevas maneras de generación de energía distintas a aquellas potenciadas por combustibles fósiles. El paso del tiempo, de inversiones e investigaciones y desarrollos constantes han marcado una evidente tendencia de disminución de precios, en especial en el caso de la energía eólica y la solar —siendo la segunda la que ha comprobado un mejor rango de avance a menor costo—. Se considera que, estos avances han estado relacionados con una mejora en la tecnología resultante del aumento de inversiones, proyectos de desarrollo y políticas de apoyo a implementación para crear condiciones de mercado adecuadas para el auge de las mismas.

-Las reducciones de costos para la energía solar fotovoltaica se encuentran entre el 75-85% desde sus inicios hasta 2017 (World gross electricity production, by source, 2018 – Charts – Data & Statistics, 2017); lo que ha resultado en el decrecimiento en costos de producción, así como el costo de materias primas, lo que además de convertir a la energía solar en una energía cada vez más competitiva también la independiza del apoyo económico de la inversión.

-La energía eólica y la energía solar de concentración también muestran una disminución de costos, sin embargo no dejan de ser sensibles a algunos factores externos a su desarrollo tecnológico.

Es importante mencionar que aunque el panorama de las energías renovables luce alentador, la disminución de precios de dichas energías únicamente aplica para la producción de las mismas; por lo que el precio de venta al consumidor final puede no disminuir e incluso aumentar, esto debido a que en el plano microeconómico las energías renovables no son tan eficientes como se esperaría debido a su baja fiabilidad y baja capacidad de almacenamiento. Si bien es cierto que las tecnologías renovables

son una opción de suministro, reconocer sus limitaciones aclara el posible panorama, permitiendo que las decisiones que se tomen en el sector energético sean lo más realistas posibles.

2.3.3 Estrategia Puente

Es evidente que la transición energética tendrá un coste que se presupone será absorbido en su mayoría por el aumento de eficiencia energética en la industria y áreas residenciales; mientras que el resto se designará al desarrollo de tecnologías para energías renovables. A este respecto macroeconómico la Comisión Europea estima que el sistema actual necesitaría una actualización de costes similares a la transformación energética, además se considera que la transición implicaría un aumento global de 15% en el PIB, sin contar la ruptura del sector energético a su dependencia con los combustibles fósiles y el cambio de roles en el sector energético a producciones mayormente sostenibles.

Siendo que la transición energética, a pesar de ser estudiada en muchos aspectos aún resulta bastante incierta —en especial porque se desconoce la disponibilidad de tecnología y desarrolló, así como el acervo de políticas y su impacto según el avance de tiempo— la IAEA se encargó —después de un estudio profundo del caso— de generar una estrategia puente para la transición, dando directrices para manejar la misma. La estrategia a su vez estaba compuesta por otras 5 estrategias:

- Mejorar la eficiencia energética en la industria, el sector residencial y transporte.
- Inversión extra a tecnologías renovables.
- Eliminación progresiva de aquellas centrales térmicas menos eficientes.
- Eliminación de subsidio a combustibles fósiles.
- Reducción de emisión de metano en la producción de gas natural y petróleo.

Estas estrategias han sido reveladas con la intención de guiar la transición energética de la manera más eficiente posible.

Capítulo 3. Energías sustentables en México

3.1 Situación actual energética del país.

En 2014 México dio fin al sector energético que conoció por 50 años —basado en un sistema cerrado y monopólico— para dar paso a uno más competitivo y ambientalmente sostenible, esto a partir de una serie de reformas. El cambio principal fue el de permitir la inversión privada en el sector energético y de petróleo.

El sistema energético nacional ha demostrado ser ineficiente. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía el 28% del total de energía generada en el país se pierde debido a fallas técnicas, de mantenimiento o a la corrupción que permite que se robe energía por medio de vías no autorizadas. Por otro lado, México es un país altamente dependiente de los petrolíferos y gas natural, lo que le resta independencia a la matriz energética, haciéndolo altamente voluble a los distintos cambios del sector energético global. Además, de acuerdo con distintos estudios se entiende que entre el 13-15% del territorio mexicano —que se traduce a un 68% de la población— resulta vulnerable a los efectos del cambio climático.

Estas, entre otras razones, convierten en el objetivo principal de la reforma energética establecer un sector energético que cumpla con las necesidades básicas: seguridad, sostenibilidad y competitividad. Aunque estas reformas principalmente se encargaron de demostrar que el país estaba listo para una modernización a nivel económica, también se utilizaron para señalar la postura ambiental mexicana, ya que a partir de lo establecido en dicha reforma las energías renovables se han hecho cada vez más presentes en la matriz energética nacional; siendo que actualmente el 18% de la energía se genera por medio de fuentes sustentables. (SENER, 2018)

México es un país lleno de recursos, que con los incentivos adecuados podrían colocarlo en la punta del plano energético sustentable, sin embargo y a pesar de ser un tema de importancia nacional, el desarrollo de la energía sustentable en el país no ha sido tan exitoso como se esperaba.

3.1.1 Mercado energético en México

Dentro de lo planteado en La Reforma Energética, se estructuró un nuevo mercado energético —Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) — que se apoyó de los siguientes instrumentos para alcanzar su objetivo:

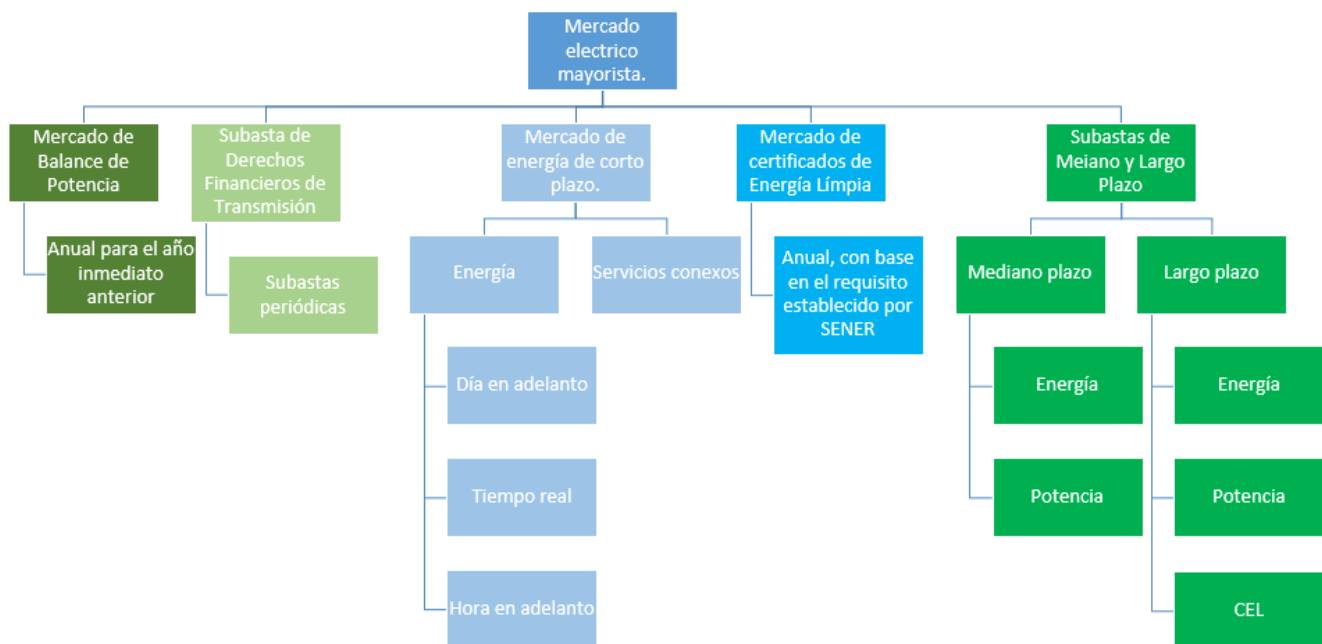


Fig 4. Instrumentos del MEM - Fuente: PV-magazine

A partir de dichos instrumentos se promueve un mercado mayormente competitivo del que se beneficie la sociedad.

Mercado de energía a corto plazo

Tiene como objetivo principal evidenciar el precio de la energía, con la intención de incentivar la eficiencia operativa de los generadores; dicho mercado es manejado por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). Estas señales se hacen por medio de transacciones de compra y venta de energía y servicios conexos con base a los precios marginales locales de energía y precios zonales de servicio.

Para estas transacciones, la demanda está representada por los suministradores energéticos y de servicio; mientras que, la oferta se representa por los generadores energéticos, quienes utilizan como base de costos las variables de generación de cada planta. En el mercado, primero se asignan las planta más eficientes y así sucesivamente hasta que se cubre la demanda; la última planta marca el precio marginal con base a los costos de su generación, este precio será el precio al que se venderá toda la energía sin importar los costos de la misma. En el MEM de corto plazo existen tres modalidades; un día de adelanto, tiempo real y hora de adelanto, las primeras dos etapas se complementan con la última.

Mercado de Balance de Potencia

Este mercado anual tiene como objetivo reflejar la escasez o exceso de capacidad disponible de generación a través de los precios a los que el Sistema Energético Nacional adquiere la capacidad disponible para satisfacer la demanda mayor. En este mercado los generadores intercambian excesos o faltas de potencia de generación con respecto a sus contratos.

La disponibilidad de capacidad de un generador se mide en 100 horas críticas del año anterior —100 hrs de menor reserva total de la zona de potencia—, para esta operación se determinan tres zonas: Sistema interconectado nacional, Baja California y Baja California Sur.

Mercado de Certificados de energía limpia.

Este mecanismo surge como incentivo al uso de energías limpias, un CEL se define como el título equivalente a 1MWh de producción de energía a partir de tecnologías limpias, con ello se asegura un ingreso complementario a los generadores de energía limpia y además se obliga a los consumidores a cumplir con su compromiso de consumo de energía limpia. Los criterios de otorgamiento de los CEL y el requisito de su adquisición son manejados por la SENER, mientras que el cumplimiento de los mismos es vigilado por la CRE.

Subastas de Derecho Financiero de Trasmisión (DTF).

La subasta de DTF tiene como objetivo reducir el riesgo de congestión en las redes eléctricas y a la par cubrir el mercado; dichos derechos pueden ser obtenidos por medio de subastas, DFT legados, contratos bilaterales y fondeo de expansión de redes. Un DTF equivale a 1MWh y su precio se calcula en base al precio marginal de congestión y precios marginales locales. Por medio de los DTF se administra la presencia en el MEM evitando costos de congestión, por lo que el dueño del DTF está obligado a pagar o cobrar la diferencia de precios entre el nodo de origen y el de destino.

Subastas de mediano y largo plazo.

El objetivo de estas subastas es propiciar certidumbre a los inversionistas para financiar proyectos de generación. En este mecanismo los generadores presentan sus ofertas de compra y los vendedores sus ofertas de venta; el CENACE publica a los ganadores.

Los participantes hacen distintas ofertas jugando con la energía potencial y CEL de los productos en caso de la subasta de largo plazo —15 años— mientras que para la de mediano plazo —3 años— únicamente se utiliza el potencial y energía.

3.1.2 Producción y consumo de energía en México

México es un país con una demanda energética creciente —3% por año—, por lo que como en cualquier otro caso, la energía es esencial para su desarrollo. Actualmente la matriz energética nacional está dominada por los combustibles fósiles y gas, siendo los combustibles fósiles los de mayor presencia con un 50% —porcentaje mayor incluso al del medio oriente (S. Energí-a, 2018) —; de acuerdo a la SENER (Secretaría de Energía Mexicana) la eficiencia del sector energético ha incrementado un 2% anualmente lo que ha conseguido una disminución en las emisiones.

Producción

De acuerdo al último Balance Energético Nacional (2018), se observó un decrecimiento en la producción del sector energético de un 8% —justificado por la caída que tuvo el petróleo y gas natural a nivel mundial—. A pesar de la caída general, se observa un aumento en la producción de energía nuclear y energía renovable; estos comportamientos pueden ser observados de mejor manera a través de la tabla que a continuación se presenta.

	2016	2017	Variación porcentual (%) 2017/2016	Estructura porcentual (%) 2017
Total	7,714.13	7,027.22	-8.90	100
Carbón	254.17	308.24	21.28	4.39
Hidrocarburos	6,694.85	5,940.60	-11.27	84.54
Petróleo crudo	4,826.85	4,354.89	-9.78	61.97
Condensados	88.31	67.28	-23.81	0.96
Gas natural	1,779.68	1,518.43	-14.68	21.61
Nucleoenergía	109.95	113.22	2.97	1.61
Renovables ¹	655.16	665.16	1.53	9.47
Hidroenergía	110.51	114.65	3.75	1.63
Geoenergía	132.59	127.43	-3.90	1.81
Solar	11.09	15.16	36.68	0.22
Energía eólica	37.36	38.23	2.33	0.54
Biogás	1.91	2.52	31.94	0.04
Biomasa	361.70	367.18	1.52	5.23
Bagazo de caña	110.14	116.87	6.11	1.66
Leña	251.56	250.31	-0.50	3.56

Fig 5. Producción de energía primaria- Fuente: Balance Energético.

De acuerdo con la Secretaría de Energía, a partir de los esfuerzos por desplazar el uso de combustibles, actualmente el sector eléctrico se alimenta principalmente del uso de gas natural, beneficiado por los bajos costos de importación de países como EUA y Canadá, a pesar de que el uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad ha disminuido dramáticamente continuando siendo mayor que el caso de otros países.

Consumo

Ahora bien en cuestiones de consumo, de acuerdo al mismo balance, es el sector transporte el puntero en consumos, seguido por el industrial y por último el comercial y agropecuario.

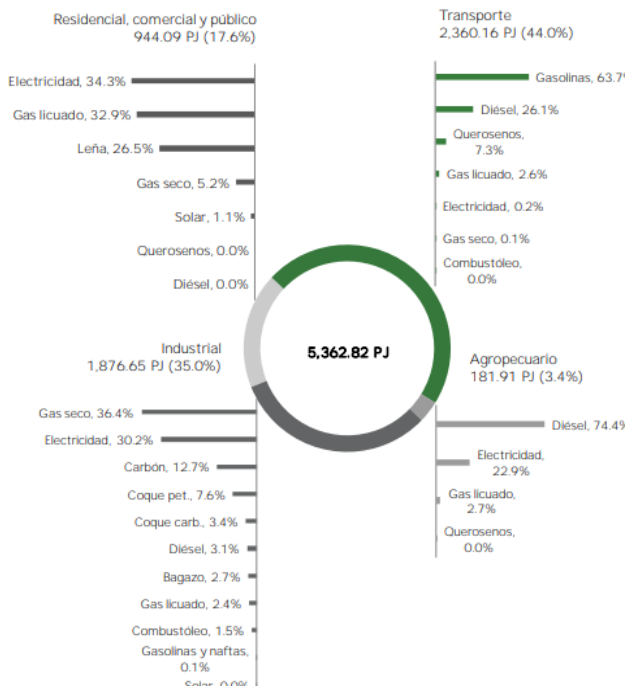


Fig 6. Consumo eléctrico en México, dividido por sectores- Fuente: Balance Energético

A esta altura me parece es importante señalar que la reserva de petróleo mexicano corresponde únicamente al 0.4% de reservas petroleras mundiales, mientras que de gas sólo se tiene el 0.1%. A lo largo de los años se ha manejado que México es un país petrolero, razón por la cual se defiende el sistema actual energético y bajo esta suposición se cree que el país es capaz de sobrevivir con estas reservas por 50 años; sin embargo no hay que olvidar que la desventaja de estos combustibles recae en su disponibilidad finita.

A continuación se presenta una tabla del consumo energético en México por tipo de combustible con la que se pretende evidenciar que el máximo consumo mexicano es de petrolíferos, gas y electricidad.

Tabla 6. Consumo final por tipo de energético 2017. Elaboración propia- Fuente: Balance de energía 2017.

Tipo de energético	Consumo (PJ)	%
Petrolíferos	2937.9	54.78
Gas seco	734.69	13.70
Electricidad	935.57	17.45
Biomasa	300.20	5.60
Carbón y coque	443.55	8.27
Solar	10.89	0.20

La electricidad —tercera forma de consumo energético— en su vasta mayoría, casi el 60%— se genera a partir de la quema de gases —proceso más eficiente que el de quema de carbón y con menor cantidad de emisiones—. Contrario a las creencias el mayor porcentaje de gas utilizado para estos fines no se produce en México si no que se importa de EUA. A pesar de que México es un país con gran

potencial de producción de gas, no existe la tecnología ni infraestructura suficiente para este proceso; lo que convierte a México en un país energéticamente dependiente.

3.1.3 Disponibilidad de recursos

La disponibilidad de recursos es uno de los factores, más influyentes para el sector energético puesto que al ser materias primas son bases del precio de la generación energética; la disponibilidad no solamente implica la cantidad disponible sino la cercanía y la facilidad de acceso a los mismos. Un claro ejemplo es que la importación de recursos que hace a un sistema energético altamente susceptible a lo que suceda en los países de los que se importan dichos recursos.

Como se mencionaba con anterioridad, la demanda energética de México se encuentra en constante crecimiento; por lo que el uso de recursos presenta el mismo comportamiento; a este respecto es importante aclarar que el sector energético en México no es autosuficiente desde hace 12 años siendo que el porcentaje de consumo era 4.4 veces mayor a lo que se producía, ese índice para 2018 aumento 80% (Villareal & Tornel, 2017).

Aunque México es el décimo productor de combustible fósil y gas; como antes se mencionada, su consumo es más alto que su producción, haciendo necesaria la importación principalmente de EUA; por esta razón el precio del mismo depende de factores externos. Ahora bien, en términos de recursos me parece importante mencionar que la Agencia Internacional de Energía ha señalado en numerosas ocasiones que México cuenta con un gran potencial a nivel energías renovables; tomemos por ejemplo el caso de la energía eólica en Oaxaca donde se tiene más potencial Eólico que Alemania —tercer país en energía Eólica—; mientras que en planos de energía solar, el total del territorio mexicano se ubica en el cinturón solar de la tierra, por lo que recibe grandes cantidades de radiación, tan solo el 70% de su territorio presenta una irradiación superior a 4.5 kWh/m²/día, lo que lo convierte en un país muy soleado, oficialmente la insolación media en todo el país es 5 kWh/m² (superficie horizontal) —en Sonora más de 8 kWh— y por ejemplo, el lugar menos soleado es mucho más soleado que cualquiera

de Alemania; si se usara la milésima parte de la energía solar que se recibe tendríamos para dos veces el consumo energético necesario.

3.1.4 Capacidad instalada y generación

México cuenta con una superficie de aproximadamente 2 millones de kilómetros cuadrados en la que alberga una población de 97.5 millones de personas; a pesar del gran territorio el aumento poblacional de la nación se dio hasta 1970; entre esta década y los 2000 la población mexicana se duplicó. Este efecto incrementó a la par la demanda de recursos y la explotación de los mismos para cumplir con esta demanda. A continuación se hablará del sector energético y su estrategia de cumplimiento de demanda.

Capacidad instalada

De acuerdo con el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2030 (PRODESEN), la capacidad instalada en 2015 del sector energético fue de 68, 044 MW, de la cual el 71% se atribuye a centrales eléctricas convencionales, mientras que el resto se atribuye a centrales con tecnología limpia, que se calcula presentaron una tasa de crecimiento de 4% en comparación al año anterior, esto como resultado de instalación de nuevas centrales.

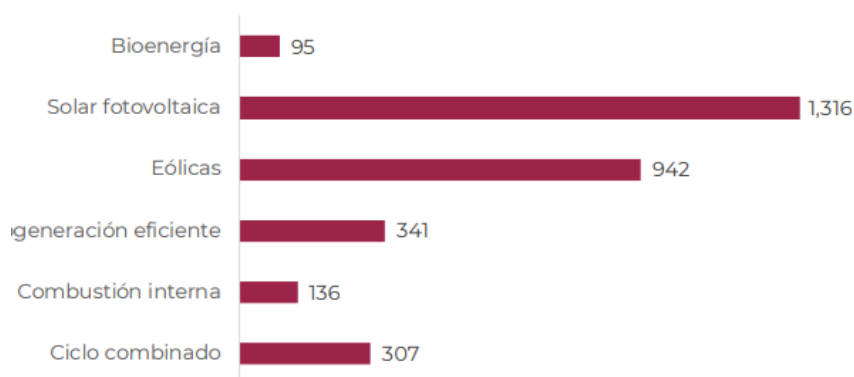
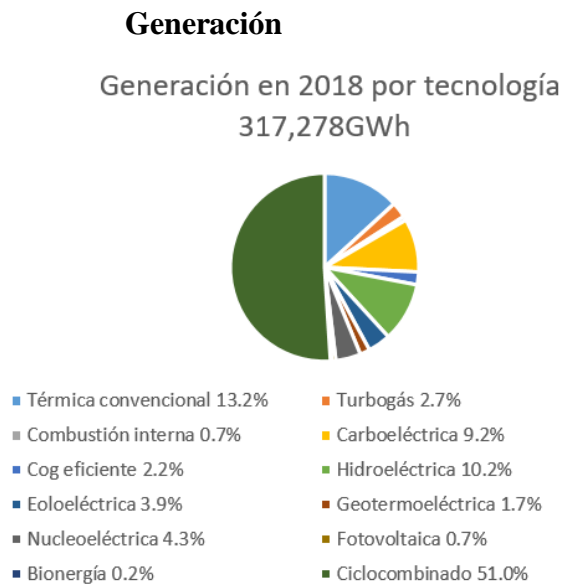


Fig 7. Adición de la capacidad efectiva instalada 2018- Fuente: PRODESEN 2019-2033

Ahora bien, las modalidades de generación en su gran mayoría (61%) pertenecen a centrales generadoras de CFE mientras que el resto se divide entre particulares (19.5%) —autoabastecimiento,

cogeneración, exportación, entre otros— y productores independientes de energía (19.5%). Geográficamente la mayor concentración de capacidad disponible está en la zona oriental del país, siendo las entidades federativas con mayor capacidad instalada: Veracruz, Tamaulipas y Chiapas.



En cuestiones de generación, lo que significa la cantidad de energía que se produjo a partir de la capacidad instalada, en 2018 se tiene un registro de 317,278 GWh de energía eléctrica de la cual el 76.8% proviene de tecnologías convencionales, mientras que el resto se adjudica a energías limpias. De 2015 a 2018 se registró un incremento en tecnologías limpias de aproximadamente 3%.

Fig 8. Generación nacional 2018- Fuente: PRODESEN 2019-2033

Del total de energía generada el 54.2% se generó en centrales eléctricas pertenecientes a CFE, mientras que el 30.1% fue aportado por PIEs y el 15.7% por particulares. En cuanto a territorio se refiere la mayor cantidad de energía generada se atribuye al Noreste Oriental y accidental siendo los estados de mayor producción Tamaulipas, Veracruz y Coahuila.

3.1.5 Eficiencia del sistema energético mexicano

México es un país que enfrenta una gran cantidad de retos en el sector energético, uno de estos es la eficiencia energética, siendo que una mejora en este factor trae consigo el aumento de competitividad y productividad del país; además de tener impacto social en la disminución del uso energético y mejora en la calidad de vida. Para la medición de eficiencia del sector se utilizan indicadores que miden la intensidad entre la relación del consumo de energía y un nivel de actividad, tomando en cuenta la explotación y uso final de energía. Además, la medición de eficiencia se puede

relacionar a factores económicos y sociales que ven su desempeño influido por el uso de energía eléctrica.

Indicadores de subsector eléctrico

- Efectos positivos de las energías renovables
- Efectos positivos de la mayor utilización del ciclo combinado y las repotenciaciones

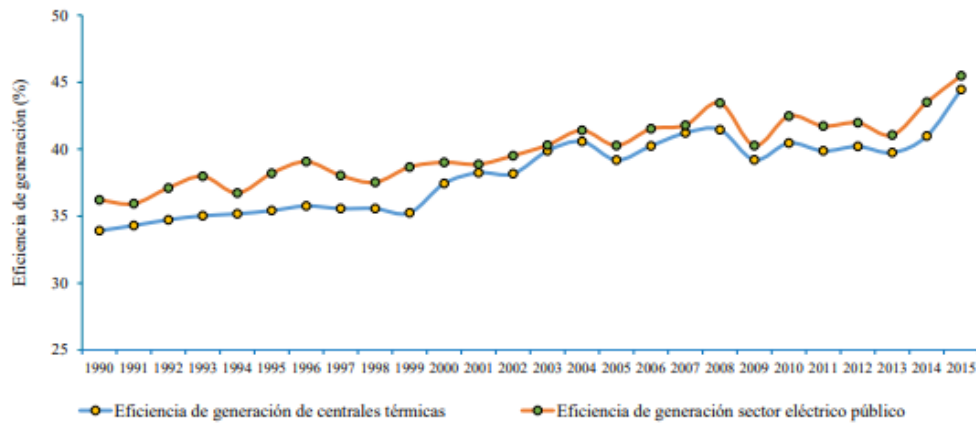


Fig 9. Eficiencia energética en 2018-Fuente: Transición Energética en México

En la Fig 9. se demuestra que la eficiencia energética del país se ha visto beneficiada por el uso de energías renovables; sin embargo no deja de ser evidente que el 50% de la electricidad se genera a partir de plantas de ciclo combinado, cuya principal materia prima es el gas; como antes se mencionaba, esta materia prima es importada en su mayoría de EUA. Actualmente el coeficiente de rendimiento energético de las centrales eléctricas es de 18%, mientras que rendimiento de una de ciclo combinado —rendimiento termodinámico— es 36%.

Además, México cuenta con una matriz energética que a pesar de ser diversa está altamente cargada hacia el uso de combustibles fósiles; lo que implica la dependencia del sector a la disponibilidad y precios de los mismos haciéndolo un sector sensible a riesgos. Por esta razón, se considera que el modelo energético es poco eficiente.

3.1.6 Costos del deterioro ambiental en México

Se analizó un estudio de los costos ambientales que por medio del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM), relaciona los distintos participantes de los costos ambientales con el PIB nacional, en este estudio se analizan los costos de Degradación —requerimiento monetario para restaurar el deterioro ambiental— así como los Costos de Agotamiento de recursos, y por medio de estos es posible tener un estimado monetario del desgaste y pérdida de recursos naturales.

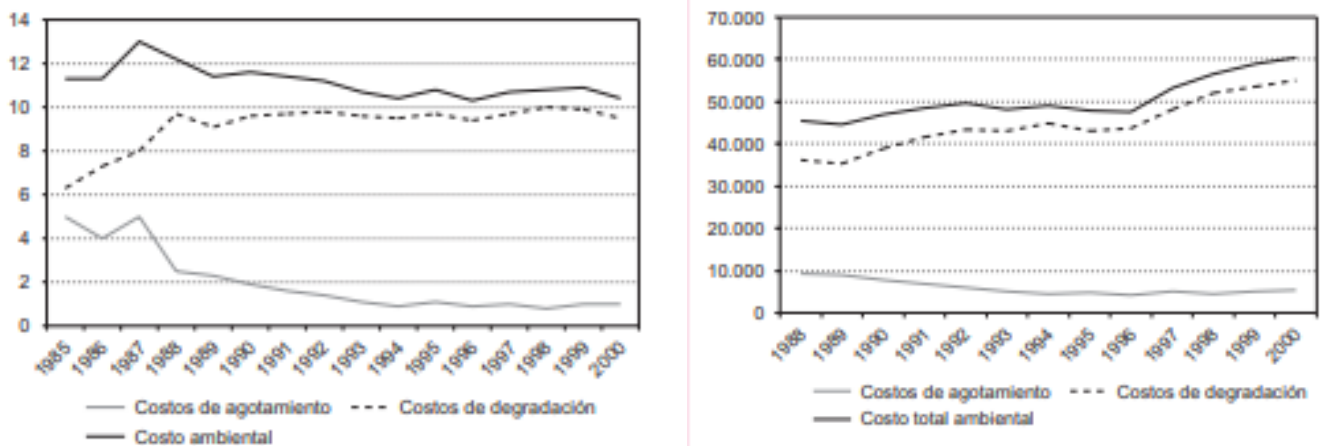


Fig10. Costos ambientales-Fuente: Política Ambiental en México génesis desarrollo

El gráfico de la izquierda en el Fig 10 se muestra la evolución del costo ambiental total y de cada uno de sus componentes para el período 1985-2000, como proporción del Producto Interno Bruto del país. En el mismo gráfico es posible observar una tendencia decreciente, en términos de la participación en el PIB, para los Costos de Agotamiento y creciente para los Costos de Degradación. Por su cuenta, los Costos Ambientales son relativamente constantes a partir de la segunda mitad de los años noventa.

Además, el estudio analiza la degradación en términos absolutos que se muestra en el gráfico de la derecha, junto con los costos ambientales en precios constantes del año 2000; se demuestra entonces que la evidencia empírica resulta contundente: el deterioro ambiental expresado en términos monetarios ha seguido una tendencia creciente y por ello se concluye que el Estado mexicano no se encuentra equipado con los instrumentos de política necesarios para abatir los costos antes mencionados y procurar un ambiente de calidad para sus ciudadanos.

3.2 Política pública ambiental.

La política ambiental nació de la confrontación del desarrollo poblacional contra la conservación del medio ambiente y la necesidad de una interacción simbiótica de las mismas. Como una tendencia a nivel global la política pública ha empujado en el plano político la transición energética, incentivando a su uso y reconocimiento.

En el caso de México, la Reforma energética aceptada en 2014 dio paso a las primeras subastas de energía eléctrica para un mercado energético recién inaugurado. Las ofertas ganadoras para suministro de energía eléctrica, en ambas ocasiones fueron adjudicadas a proyectos de energía renovable por aventajar a los combustibles fósiles en temas de costos. Esto sorprendió de manera grata a aquellos opositores de la transición energética.

Éste es tan sólo uno de los ejemplos de cómo la política pública tiene un gran papel en el desarrollo de las energías sustentables. En este caso, en el que se adjudicaron 14.3 TWh en ese año (2016) a las energías renovables —el doble que el año anterior— el resultado de las primeras subastas manda un mensaje claro de que la transición energética en México cuenta con un gran potencial.

3.2.1 Política pública.

En México, el 25 de Diciembre de 2015 entró en vigor la Ley de Transición Energética, esta ley garantiza una penetración más acelerada de las energías “limpias” y un avance en la eficiencia del sector energético; por lo que se considera el principal instrumento para el desarrollo de la transición energética. Esta ley se fundamenta en la idea de mantener el bienestar social mediante la regulación del aprovechamiento sustentable de la energía y de las emisiones contaminantes.

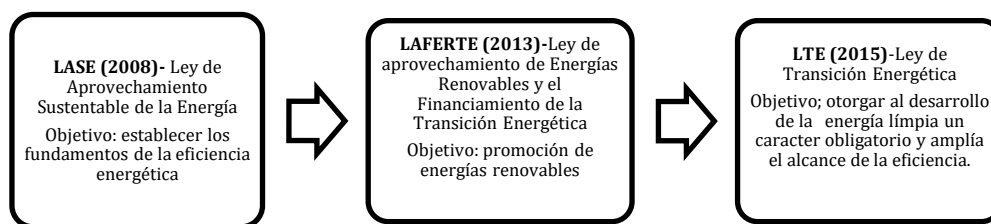


Fig 11. Evolución de la política ambiental México- Elaboración propia- Fuente: Transición Energética en México

Como es posible observar en la Fig 11, el avance del tiempo ha otorgado a la política ambiental rigurosidad con la evolución de las leyes referentes a la transición energética; es importante mencionar sin embargo, que esta rigurosidad ha sido impulsada en su gran mayoría por la exigencia de la sociedad civil.

3.2.2 Metas de generación de energía limpia.

La LTE (Ley de Transición Energética) surgió como instrumento de catálisis a lo que se estableció en la Reforma Energética. En esta ley se plantearon distintas metas intermedias y finales con respecto a los compromisos aceptados por México en el Acuerdo de París; dichas metas implican una directriz para el nuevo mercado energético nacional que está regulado principalmente a partir de Ley de Industria Eléctrica (**LIE**), que además de promover el desarrollo sustentable busca garantizar una operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios y define los conceptos básicos del nuevo sistema energético.

El tema de la definición de conceptos resulta ser un tema de discusión por una definición en especial; en México, la LIE establece que se consideran energías limpias “aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Entre las energías limpias se consideran las siguientes: el viento; la radiación solar, en todas sus formas; la energía oceánica en sus distintas formas; el calor de los yacimientos geotérmicos; los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los bioenergéticos; la energía generada por el

aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados en los sitios de disposición de residuos, granjas pecuarias y en las plantas de tratamiento de aguas residuales; la energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno mediante su combustión o su uso en celdas de combustible; la energía proveniente de centrales hidroeléctricas; la energía nucleoelectrica; la energía generada con los productos del procesamiento de esquilmos agrícolas o residuos urbanos sólidos cuando dichos procesos no generen dioxinas; la energía generada por centrales de cogeneración eficiente; la energía generada por ingenios azucareros que cumplan criterios de eficiencia; la energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento geológico o bio-secuestro de bióxido de carbono; tecnologías consideradas de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales; y otras tecnologías que determinen la Secretaría (de Energía) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales” (Artículo 3 de la LIE).

Siendo que, las metas establecidas en los distintos instrumentos de apoyo de la Reforma Energética son el instrumento fundamental del nuevo mercado energético proyectando de manera clara y con validez legal, la participación de las energías limpias en la matriz energética nacional; resulta polémico que basan su métrica en este concepto de energías limpias —que como es posible observar resulta holgado, en especial en comparación a metas de otros países—. Esto ha sido criticado por considerar que contradice la intención de proponer metas de manera legal y medible, ya que el uso de ese concepto facilita su alcance. Sin embargo, no genera un impacto como el que se esperaba. De cualquier manera la LTE establece que la meta obligatoria es la participación del 35% de energías limpias en la generación energética de 2024, dicha meta se encuentra anclada en las políticas exigidas por la ley acompañada de metas paralelas e instrumentos de apoyo; además la LTE tiene como fundamento la planeación energética económica y fiscal de la transición energética y el nuevo mercado.

A pesar de la polémica antes mencionada, hay que reconocer que estas metas también se traducen en garantías para los participantes del sector, y a su vez esto reduce el riesgo en el

financiamiento de proyectos, dirigiendo por medio de incentivos el flujo económico hacia este tipo de energías. Además en cuestión de costos favorecen a dichas energías.

Se considera que de seguir lo establecido por LTE, uno de los desafíos importantes a considerar, es el de integrar los beneficios de la diversidad energética en un plano social motivado por los resultados equitativos e incluyentes que se pueden esperar. Además, se espera que con la implementación de la LTE se reduzca la participación de los combustibles fósiles para generación de 153 TWh, implicando una implementación de energías limpias de 36% del cual 21% se espera sea de fuentes renovables, todo esto se plantea ser alcanzado en 2024.

Además, se espera reducir la importación de gas natural para generación eléctrica, en especial porque esta dinámica de importación resulta volátil al depender de los recursos del mercado internacional, del crecimiento tendencial del precio de gas y de las relaciones comerciales que se tiene con los países de donde se importa —EUA y Canadá—.

Como es posible observar las metas de energía limpia promueven un mercado prospero para la transición energética, lo que de llevarse a cabo permitirá cambiar el curso energético de México independizándolo y promoviendo la eficiencia de este sector. Sin embargo, las decisiones que se tomen de ahora en adelante, deberán ser de acuerdo a las metas y con la intención de abrir paso al uso de energías renovables y no de incrementar la inversión en gasoductos. Esto a la alarga, traerá múltiples beneficios en el plano social así como el económico para México.

3.2.3 Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y combustibles más limpios.

En la LTE se establece la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más limpios, que es un instrumento para planificar el avance de penetración de las energías renovables; sus objetivos principales son:

- a. Establecer metas claras y directrices para implementación de energías limpias.
- b. Fomentar la reducción de emisiones contaminantes originadas por la industria eléctrica.
- c. Reducir la dependencia nacional de combustibles fósiles

En este instrumento se plasmaron las metas de energía limpia, así como las metas de reducción de emisiones se plasman en la Ley General de Cambio Climático. En la Estrategia se establece que el sector energético será responsable de la disminución del 31% de las emisiones de CO₂ que se pusieron como objetivo para 2030; para ello, se

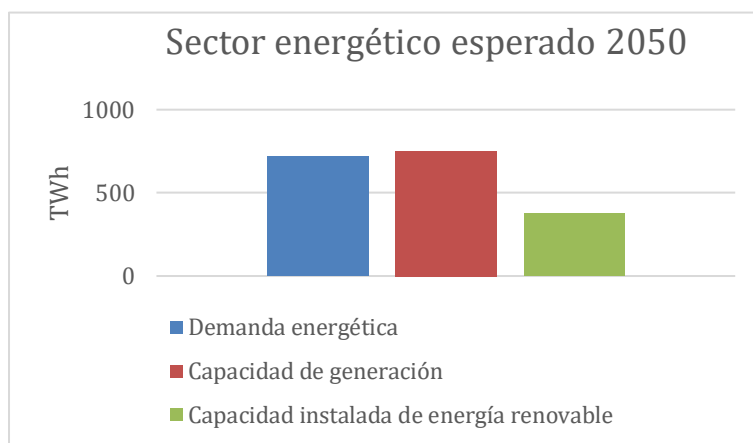


Fig 12. Sector energético 2050- Elaboración propia- Fuente: Transición Energética en México

establecieron líneas de acción del comportamiento esperado del sector energética con base en la demanda energética actual, que se espera se triplique para 2050. Esto implicará un aumento de 3 veces a la capacidad instalada requiriendo un mínimo de 5 veces la capacidad actual instalada de energías renovables.

En términos de eficiencia energética la estrategia plantea lo siguiente:

- i. Reducción del 1.9% de en la intensidad de consumo final de energía para 2016-2030.
- ii. Reducción del 3.7% de en la intensidad de consumo final de energía para 2030-2050.

Como instrumento de la transición energética, la Estrategia plantea una configuración de sistema energético a través de 5 directrices:



Fig 13. Instrumentos del sector energético 2050-
Elaboración propia- Fuente: Transición
Energética en México

1. Regulación

Es importante que las normas establecidas por el estado garanticen, el funcionamiento de los mercados y la certeza jurídica; además de eliminar daños a la salud desde 3 vertientes:

- Económico: temas de inversión y regulaciones al mercado.

- Social: se enfoca en el beneficio a la salud humana y el ecosistema y medioambiental.

- Administrativo: organización de la administración pública para proveer bienes y servicios.

2. Instituciones

Esto con la intención de tener un órgano que diseñe, evalúe e implemente los proyectos propuestos por medio de regulaciones. Esta área, resulta esencial para que los mecanismos propuestos se prueben y adecuen a las necesidades sociales.

3. Capacidades técnicas y recursos humanos

Las capacidades técnicas de la población son esenciales para adaptar el sector energético a las innovaciones emergentes.

4. Mercados y financiamientos

El flujo económico resulta ser esencial para el desarrollo de un sector, por ende la inversión es factor importante para una transición energética.

5. Investigación, desarrollo e innovación

La investigación es clave para alimentar las necesidades con las soluciones que más le ajusten.

3.2.4 Otros elementos importantes.

Uno de los conceptos impulsados por medio de la Reforma Energética y de los instrumentos emergentes a partir de ésta, es el de la generación distribuida. Este tipo de generación es aquella que se consume en el punto en que es generada, a diferencia de la que se transporta para ser consumida. Anteriormente este tipo de energía requería permisos por parte de la CFE, en la actualidad la generación distribuida menor a 500kW no requiere permiso. Esto además de dar fin a la generación centralizada, también convirtió al consumidor en generador, empoderándolo de las decisiones energéticas propias, lo que significa democratizar el sector energético.

El hecho de impulsar la generación distribuida, también implicaría dar fin al subsidio energético y la inequidad del sector; sin embargo, es importante que para ello existan las acciones apropiadas, que lejos de entorpecer los mecanismos que propicien este tipo de generación, sean capaces de incentivarlos e impulsarlos.

Otro factor importante para apoyar al alcance de los objetivos propuestos, es el de desahogar la energía generada por medio de energías limpias. Para ello es necesario un sistema de interconexión eficaz y por esto en la LTE se incluye un Programa de Redes Eléctricas Inteligentes, que permite fortalecer y expandir la infraestructura, con la intención de bajar el precio de la energía.

La LTE también impulsa las instituciones relacionadas al tema de eficiencia energética; como es el caso de la creación del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de Energía, que establece acciones y proyectos para alcanzar metas de eficiencia. Por último la LTE establece instrumentos de planeación energética y mantiene el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE), cuya asignación presupuestaria depende de la Cámara de Diputados. A pesar de que LTE así como la transición energética no están exentas de retos, tampoco faltan oportunidades, por lo que es los instrumentos y su organización así como su capacidad de reacción se convierten en un elemento esencial para el propósito.

Capítulo 4. El futuro de las energías sustentables en México

4.1 Potencial energético renovable en México.

Se entiende por potencial posible —también conocido como potencial teórico energético— a la cantidad de energía disponible en bruto sin influencia de factores técnicos económicos. En caso de las energías renovables su potencial teórico se define como la cantidad bruta disponible de estas energías, que para el caso de México se considera uno de los potenciales más grandes a nivel mundial.

Tabla 8. Potencial de energía renovable en México- Elaboración propia- Re-map 2030 México, IRENA.

	Posible		Probable	
	Capacidad (MW)	Generación (GWh/año)	Capacidad (MW)	Generación (GWh/año)
Geotérmica	7422	52013	5730	45175
Hidroeléctrica (G)	5630	4504	9243	39060
Eólica	50000	87600	-	-
Solar	50000000	65000000	-	-

Energía Solar

De acuerdo a la irradiación diaria sobre el territorio mexicano el potencial solar equivale a 5.5 kWh/m², con este referente se sabe que el país es uno de los más privilegiados del mundo en cuestiones geográficas, territoriales y climáticas que benefician a el potencial energético renovable del país; en especial en términos de energía solar, puesto que México cuenta con la capacidad de satisfacer la demanda nacional por medió de generación fotovoltaica. Sin embargo, en México no existe el impulso tecnológico suficiente para esto, por lo que esta tecnología apenas figura en la capacidad instalada del país.

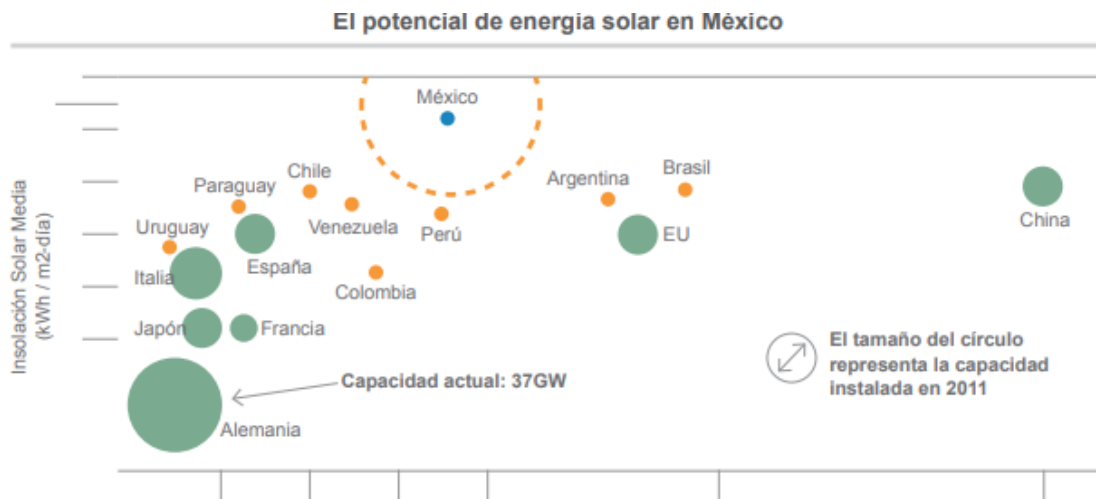


Figura 14. Potencial Solar en México- Fuente: Daniel Chacón 2015

Como es posible observar en la Fig. 14, existen otros países que se posicionan debajo de México en cuestión de disponibilidad; pero eso no ha detenido su avance en el área, como es el caso de Alemania que ha desarrollado una revolución fotovoltaica por medio de leyes y políticas públicas que permiten la integración de la tecnología FV y así reducir la dependencia de combustibles fósiles.

En 2017 existían 9 plantas fotovoltaicas que operando en México con un total de capacidad instalada de 0.17 GW —0.1% de la capacidad total nacional—, esto a pesar de que de acuerdo con PRODESEN en México las zonas de mayor radiación —Noreste y Baja California— se podría obtener hasta 8.5 kWh / m² (Chacón, 2017).

Energía eólica

El caso de la energía eólica en México es parecido al solar puesto que México también recibe uno de los índices ventosos más altos a nivel mundial. Sin embargo, los proyectos relacionados con este tipo de energía fueron de los primeros en recibir apoyo al desarrollo, por lo que para 2017 existían 32 plantas eólicas en México cuya capacidad representa 4.1% de la matriz energética y se le atribuye 2.8% de la generación total (Chacón, 2017), aunque en su vasta mayoría esta energía se produce únicamente en Oaxaca.

De acuerdo a investigaciones por parte de AMDEE, el potencial total de energía eólica en México es de 50 GW con factores de planta de 20-43%. Cabe mencionar que estos factores de planta superan aquellos de países con mayor desarrollo en plantas, por esta razón PRODESEN valúa una capacidad instalada futura —2030— de 12 GW con proyectos en Baja California, Tamaulipas y San Luis Potosí, entre otros; se prevé que para este entonces esta energía ocupe un 14% de la matriz energética (Energía, 2018).



Figura 15. Proyectos de energía Eólica 2030- Fuente: PRODESEN

Energía geotérmica

México, al igual que en otros tipos de energía renovable cuenta con un gran potencial de energía geotérmica, posicionándolo en el 4to lugar a nivel mundial de potencial de esta energía. Se calcula que el potencial posible y probable de energía geotérmica en México es de 24,700 MW; aunque, en la actualidad la generación sólo abarca el 2% de la generación total con una capacidad instalada de 1% del total de la matriz energética y con 8 plantas en funcionamiento que representa cerca de 1,033MW lo que implica que el potencial energético es 25 veces mayor a la capacidad instalada.

El poco desarrollo de la energía geotérmica en México se debe en gran mayoría a la falta de normatividad que impulse el crecimiento de esta área, por primera vez en 2013 de la mano de las reformas energéticas se presentó una Ley de Energía Geotérmica, sin embargo no parece haber sido suficiente para impulsar el potencial estimado.

Energía por biomasa

El caso de la biomasa es distinto al resto de las energías renovables —por componerse de distintas fuentes— lo que dificulta la cuantificación de su potencial, algunos elementos incluidos en la biomasa son: residuos agrícolas generados en cosechas, residuos industriales y urbanos degradables, residuos forestales generados en las actividades de maderas y limpieza de bosques, entre otros. Por lo que para la cuantificación se consideran algunos recursos únicamente y se hace la diferencia entre aquellos de viabilidad de corto plazo y el resto que resultan viables a más largo plazo.

El potencial de recursos de energía por biomasa se encuentra diseminado por el territorio mexicano, como el caso de los residuos urbanos que se concentra en zonas urbanas como Sonora, Sinaloa y Jalisco, mientras que los residuos ganaderos se acumulan en mayor proporción en estados como Chihuahua e Hidalgo.

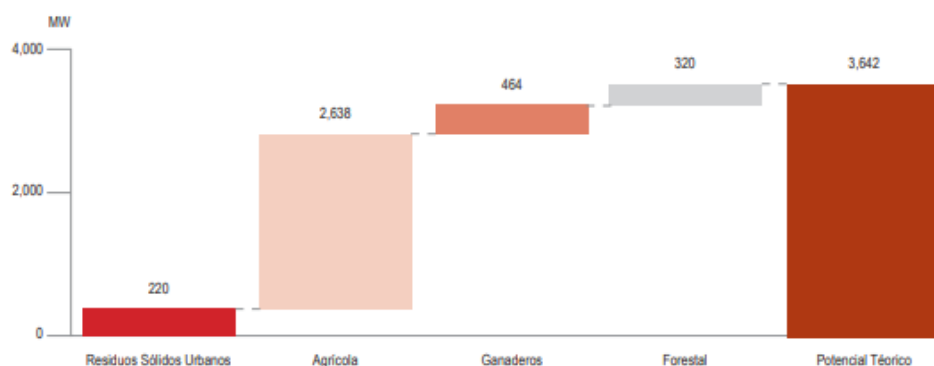


Figura 16. Potencial de la energía por biomasa- Fuente: PRODESEN

4.2 Potencial económico renovable en México.

Como se ha manejado con anterioridad la disponibilidad de recursos no es el único factor que promueve la prosperidad de las energías renovables, sino que también es esencial que el sistema corresponda con lo establecido en cuestiones económicas, externalidades ambientales y seguridad energética para la prestación del sector energético; y por ende, determinar el potencial competitivo de las energías renovables. Para ello PwC una consultora a nivel mundial organizo un modelo de métrica de potencial económico de las energías renovables compuesto por los siguientes factores:

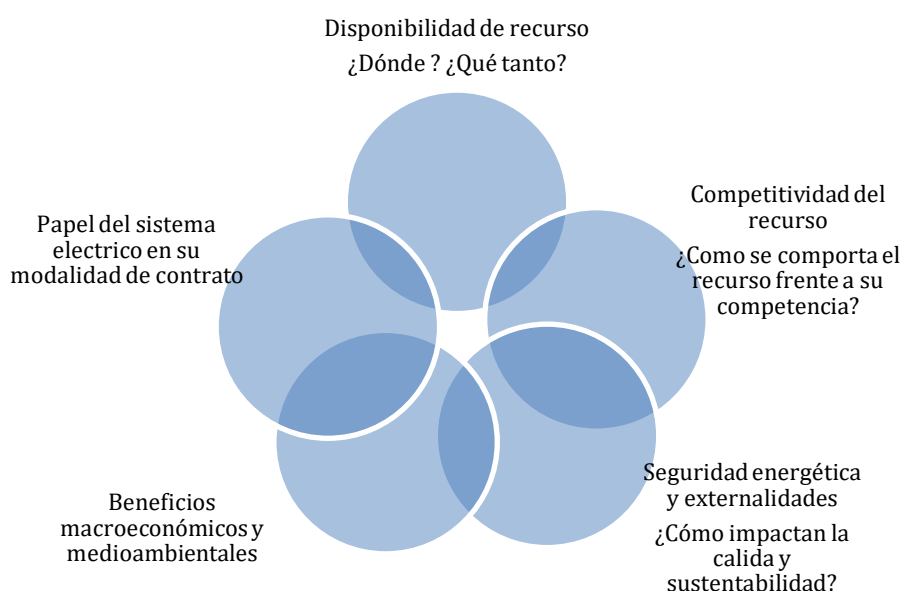


Figura 17. Modelo de potencial económico de las energías renovables. Fuente:-: PwC

Por medio de este análisis, se determinó la posibilidad de que para 2018 se instalaran más de 18000 MW provenientes de energía renovable y cogeneración. Esto, a partir de datos recabados por

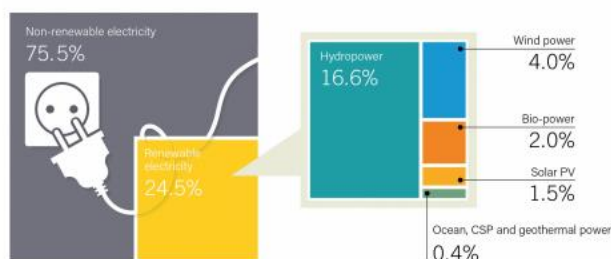


Figura 18. Composición de la generación energética mundial en 2015. Fuente:-: REN21, 2016.

medio del modelo —como que en 2015 la inversión de la energía renovable fue mayor a la que se recibió para la producción de energía fósil, en ese año el 24.5 % de la energía generada fue energía renovable y se distribuyó como se muestra en la Fig 18—.

Con ayuda de estos modelos de estudio y los datos recabados a partir de estos, ha sido posible identificar que el desarrollo tecnológico y de expansión de nuevos mercados, así como el mejoramiento de condiciones del financiamiento han sido clave para incrementar la participación de las energías renovables en el mercado energético, de manera que en un ambiente financieramente propicio (alto potencial de recursos e incentivos regulatorios) promueve un desarrollo de las energías renovables que supera en condiciones, resultados y precios a las energías de combustible fósil.

4.3 Potencial del mercado energético renovable en México.

El MEM, al ser un nuevo mecanismo para la compra y venta de electricidad su dinámica de operación se describe en las “Bases del Mercado Eléctrico” que se publicaron como producto derivado de la LIE; en este mercado se comercializan cinco productos: energía, potencia, Certificados de Energía Limpia, Servicios Conexos y Derechos Financieros de Transmisión.

Los dos primeros productos se licitan en una sola subasta de largo plazo como las dos que tuvieron lugar en 2016.

4.3.1 Primera subasta energética

La primera subasta energética nacional tuvo pie en 2016. Esta subasta sentó las bases para romper el monopolio energético de CFE, permitiendo la participación del sector privado como vendedores energéticos y de CFE como generador; se recibieron 103 ofertantes que resultaron en un total de 102 TWh y 109 millones de CEL; resultando en un precio promedio de \$47.7 USD.

Tabla 9. Resultados de primera subasta-Elaboración propia-Fuente: SENER.

Solicitudes	103
Recepción de constancias	79
Presentación de oferta económica	89
Participación en la subasta	69
Etapas finales	10
Asignación de proyectos	17
Proyectos fotovoltaicos	12
Proyectos eólicos	5

Proyectos de combustible fósil	0
Total de inversión	2600 MDD
Total de generación	2180MW

Algunos otros resultados de la subasta:

- Precios 26% más bajos que Precios Marginales Locales estimados.
- 84% de la demanda por CEL cubierta.
- 5.403 TWh de energía por medio de CEL
- Se alcanzó uno de los precios más bajos de energía solar a nivel mundial.

En general la primera subasta evidenció la necesidad de una matriz energética cuya diversidad este distribuida de manera que propicie la independencia de la misma, resultante de un mercado que valúa la energía ofertada por zona y horario lo que implica una diferencia de capacidades. A la par, se hizo un proceso de generación y funcionamiento del Sistema Eléctrico; esta subasta se considera superó los retos técnicos de manera exitosa.

4.3.2 Segunda subasta energética

Similar a lo ocurrido en la primera subasta, se obtuvo un precio promedio de 33.47 \$/MWh; además se consiguió cumplir con el 84% de la oferta solicitada de CEL, con lo que se consiguió una presencia de 35% de energías limpias en la matriz energética.

Tabla 10. Resultados de segunda subasta- Fuente: SENER.

Asignación de proyectos	23
Proyectos fotovoltaicos	12
Proyectos eólicos	10
Proyectos de combustible fósil	1
Total de inversión	4000 MDD
Total de generación	2871MW

Los resultados de ambas subastas demuestran que México ha dirigido su sector energético hacia el uso de energías renovables: en especial energía solar, ya que a esta se le adjudica el 98% de generación otorgada, por lo que el desarrollo de la misma será una pieza clave en el futuro.

Además debido a la evidente reducción de precios de las tecnologías renovables, es de entenderse que las energías renovables son la mejor forma de decarbonizar el sistema energético mexicano, pero para ello resulta esencial que las políticas públicas dirijan su enfoque a promover e incentivar este tipo de energías.

4.5 Retos de la transición energética en México.

4.5.1 Sustentabilidad ambiental

Todo cambio visible en el sector energético que implica el uso de energías renovables o la disminución de emisiones, ha sido potenciado por los compromisos aceptados por el gobierno mexicano en aras de suma a la lucha contra el cambio climático. Esto asegura que la transición energética del país esté en línea con los objetivos del Acuerdo de París y a su vez cuide las emisiones del sector energético a corto, mediano y largo plazo.

Actualmente se considera esencial que las acciones en materia de la planeación del sector energético se marquen en ruta con los objetivos globales de disminución de emisiones; es por ello que la pertenencia al Acuerdo de París compromete a las naciones participantes al cumplimiento de Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC); por esta razón la planeación en cuestiones el sector energético debe ser holística considerando un periodo largo de tiempo y teniendo en cuenta las distintas metas.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2000-2100

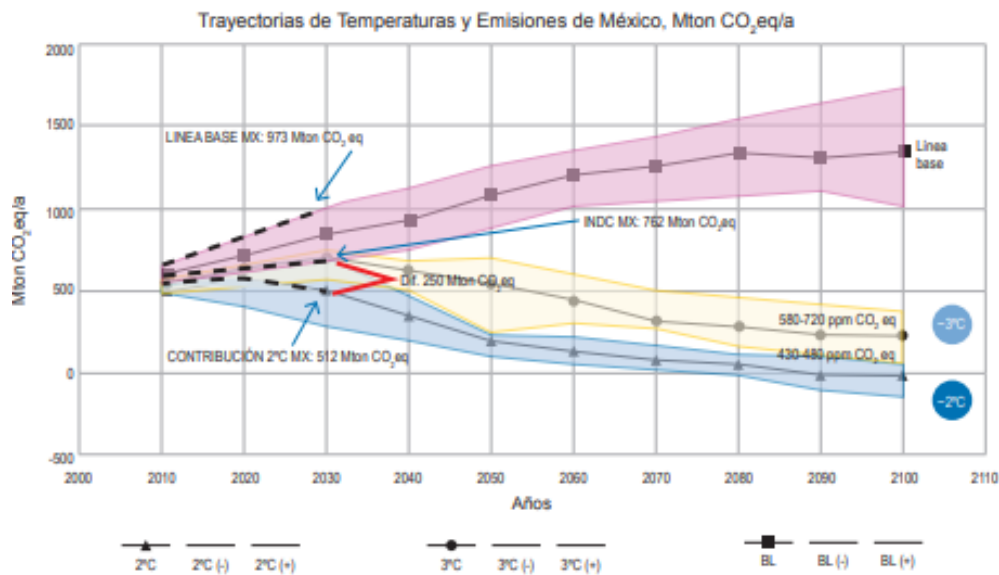


Figura 19. Predicción de emisiones para 2100- Fuente: iniciativa Climática de México con datos del IPCC e INECC.

En el gráfico podemos observar en rosa las emisiones posibles si el sector energético siguieran los pasos propuestos por la NDC, en amarillo las emisiones predichas si se implantara una estrategia de control para evitar un aumento de temperatura de 3° C y en azul si se implantara una estrategia de control para evitar un aumento de temperatura de 2° C. Los NDC actuales proponen una disminución de 139 millones de toneladas de CO₂ para 2030. A partir de la gráfica podemos observar que esto no será suficiente para apoyo a la meta global de limitar el aumento de temperatura a 2° C, de esto se concluye que la necesidad de metas más ambiciosas es imperante (Edenhofer, O et al., 2018).

4.5.2 Inclusión social

Aunque el tema de la transición energética resulta urgente, es importante recordar que dicha transición no es prioritaria a la excesiva necesidad social del contexto del país. La dinámica política y económica de México se caracteriza por fuertes retos originados por la falta de equidad en la mayoría de los sectores, no es diferente el caso del sector energético.

Uno de los temas principales es la falta de representación en el sector político, a este respecto únicamente el 17% de la población se siente satisfecha con esta representación. Esto sucede en un país

en donde el 10% de la población le corresponde el 64.4% de ingresos, por lo que el resto del país presenta altos indicadores de pobreza que están acompañado de malas condiciones de vida y falta de suministro de servicios; para el caso de la energía el 37% de la población no cuenta con recursos energéticos suficientes para garantizar una vida digna y cumplir sus necesidades básicas (IRENA, 2018).

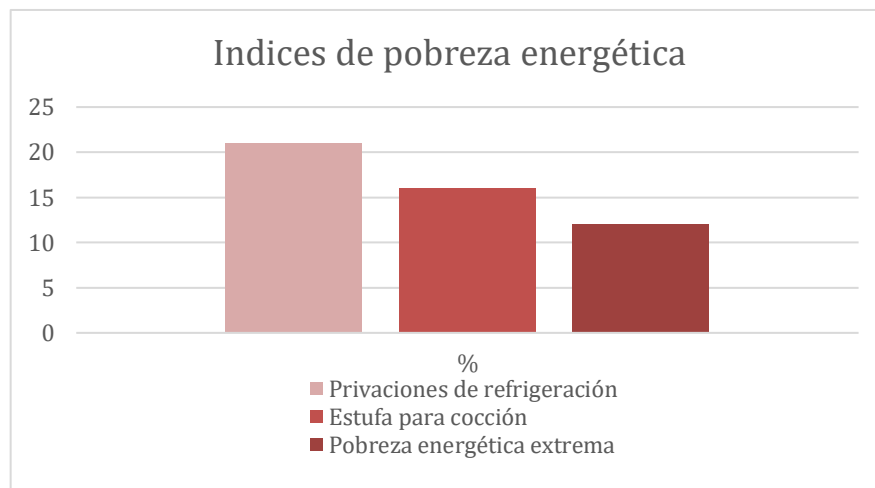


Fig 20. Índice de pobreza energética- Elaboración propia- Fuente: Transición Energética en México

La gráfica superior es un claro ejemplo de la inequidad energética presente en el país, por esta razón es necesario que la transición energética tome en cuenta este contexto social, económico y político, para así plantear entre sus metas promover el fin a la desigualdad; en este tenor es importante que la ley sea capaz de interrelacionar los distintos objetivos y planificar en base a esto.

Ahora bien, es importante recordar que la Reforma energética trata sobre la democratización de la energía; sin embargo, también hace hincapié en la equidad social, productividad y sustentabilidad de la misma. Además, a pesar de que la meta de implementar un 35% de energías limpias para 2030 es indispensable también se demuestra que es limitada, por lo que los proyectos en el sector energético deberán de estar apoyados por distintas estrategias y otros sectores en las siguientes maneras:

-Diseño y aplicación de instrumentos de fomento de control y disminución emisiones en la generación y distribución de la energía.

-Elaboración de Normas Mexicanas que contengan el límite de emisiones respecto a la meta necesaria, de manera que dichas Normas deberán ser específicas.

-Coordinación de estudios e investigaciones para determinar causas y efectos de la contaminación, así como para el desarrollo de estrategias de impacto.

4.5.3 Participación social

Como se ha manejado a lo largo del texto la implementación de energía de fuentes renovables surge como respuesta a una urgencia de bienestar poblacional, como cualquier tema de índole social, económico y político. Esta búsqueda de bienestar poblacional es la razón de existir de la democracia, que busca dar voz a todo sector poblacional con la intención de resolver problemas y necesidades de la manera más holística posible. En una democracia ideal deberá ser la sociedad la que elija entre sus opciones la que beneficie a la mayoría.

Por esta razón la participación ciudadana en temas clave para el desarrollo de la sociedad es de importancia crucial. La emergencia de un nuevo sector energético debe de tomar en cuenta la voz ciudadana con la intención de construir dicho sector a medida de las necesidades de la misma. Para el caso de México, la desigualdad energética demuestra que la democracia en el tema no ha funcionado de la manera correcta, por lo que se suma a la lista de retos de la transición energética el fomentar la participación ciudadana por medio de instrumentos de difusión de información para toma de decisiones así como instrumentos de recolección de opiniones que serán base de la toma de decisiones.

Ahora bien, es muy importante para el funcionamiento correcto del nuevo modelo energético que se tomen en cuenta las asimetrías sociales potenciadas por las distintas necesidades y capacidades de los sectores participantes, no sin olvidar implementar la corresponsabilidad y solidaridad de las partes.

4.6 Generación distribuida de las energías renovables

Uno de los impulsos e instrumentos más accesibles y próspero para la adopción de energía limpia es la Generación Distribuida (GD) —aquella generación que se consume en el mismo lugar que se genera, sin necesidad de ser transferida— este tipo de generación presenta una manera de obtener los objetivos establecidos en el marco legal; en conjunto con la Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios (SENER, 2016) la GD impulsa la democratización del sector energético con la intención de eliminar la pobreza e inequidad energética.

Siendo la energía solar la forma más común de GD, la existencia abundante de este recurso cuenta como una ventaja para incluir la energía solar a la matriz energética por medio de mecanismos de GD. Esta forma de generación es beneficiosa de distintas formas:

- **Economía:** eliminación del subsidio eléctrico, disminución de los costos marginales de energía.
- **Ambiente:** combate al cambio climático, mejoramiento de la calidad del aire y reducción en el uso de suelo y uso de agua por parte de la industria eléctrica.
- **Social:** mayor autonomía y participación ciudadana, así como mayor democratización de la energía, solución a la pobreza energética.
- **Tecnología:** fortalecimiento de la infraestructura del sistema, mejor en la distribución de cargas.

Es importante entender que para hacer uso de la GD como instrumento será necesario tomar en cuenta los factores exógenos y endógenos de integración de la energía fotovoltaica aprovechando los distintos desarrollos tecnológicos y la impresionante disponibilidad de recursos.

CONCLUSIONES

El análisis del capítulo 2 permite observar que México al ser un país en desarrollo dista de acciones contundentes como las que se han tomado en países punteros de la transición energética. En dichos países un trabajo integral entre el gobierno, la inversión privada, el sector de investigación y la población, han logrado impulsar distintas legislaciones y acciones que permiten el desarrollo propicio de las energías renovables. De esto podemos retomar que en común estos países punteros tienen legislaciones que promueven la energía sustentable, así como actitudes integrales entre distintos sectores que facilitan el desarrollo de dichas energías.

Se entiende que los cambios rápidos del sector energético se han potenciado gracias a la rapidez del crecimiento de la demanda energética nacional y que la incertidumbre que rodea a las energías renovables —en especial en términos de su obtención irregular— es todavía bastante en comparación con lo que se sabe de la energía fósil. Sin embargo, basta con ver los resultados satisfactorios de las únicas dos subastas energéticas en México para entender el gran potencial de las energías renovables en el territorio nacional, sin mencionar los beneficios que el desarrollo eficiente e impulsado con los incentivos correctos le traerían al país.

Previo al marco político que incluye a la Reforma Energética, era imposible vislumbrar un futuro para las energías renovables en el país; por lo que el establecimiento de políticas ambientales fue un gran paso dado por la administración anterior a la actual. Hay que reconocer que este paso se dio en mano de la exigencia de colectivos sociales y fundaciones que ejercieron presión para que en México existiera aun banderazo de salida que promoviera el uso de energías renovables.

Además, no hay que olvidar que la infraestructura de transmisión energética es carente y acomodada en su gran mayoría a energía de tipo fósil y su actualización y gestión siguen siendo un proceso de tipo público a cargo de una única empresa (CFE); haciendo la transferencia energética

equitativa una meta difícil de alcanzar. Por ende esto se visualiza la probabilidad técnica como un reto grande de la transición energética en especial por el cargo económico que esta conlleva.

Por último el reto más importante es el de impulsar y promover la transición energética como un beneficio socioeconómico para la población; no hay que olvidar que el gobierno tiene subsidiada la energía por altas sumas, por lo que la independencia energética poblacional, de la mano herramientas como la generación distribuida trae consigo ahorros para la población así como para el gobierno.

Como resultado de este estudio México es considerado un país con alto potencial en energías renovable en términos de recursos, sin embargo para alcanzar su eficiencia óptima en este tema serán necesarias acciones numerosas y contundentes de política ambiental como de reeducación a inversionistas y a la población en general.

Anexo 1

Explicación técnica de eficiencia.

Como se menciona en el subcapítulo 1.2.2 **Tecnologías convencionales de generación de energía eléctrica**; la conversión de un combustible en electricidad por medio de la combinación de una turbina de gas (combustión -ciclo Brayton) con una turbina de vapor (ciclo Rankine) permite un mejor rendimiento que estos ciclos por separado. A continuación se hace un análisis para demostrar esta aseveración.

Una premisa termodinámica dicta que una máquina térmica trabajando entre dos focos térmicos tiene un rendimiento respectivo a la distancia entre los dos focos (cálido-frío). Ahora bien con fines prácticos para el análisis supongamos que las maquinas que analizaremos funciona de manera ideal; con esto en mente se presenta el análisis de la eficiencia del ciclo combinado

El rendimiento térmico de una máquina que sigue el ciclo ideal es:

$$n_c = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Si esta ecuación se aplica a cada uno de los ciclos por separado, se obtienen los siguientes resultados:

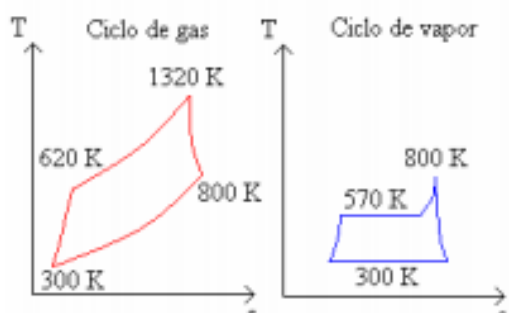


Figura A11. Ciclos gas y vapor –Fuente Rapun J.199

Tabla A11. Ciclos gas y vapor –Fuente Rapun J.199

Análisis de rendimiento	Ciclo de gas	Ciclo de vapor
Temperatura media de adición de calor (K)	950-1000	550-630
Temperatura media de cesión de calor (K)	500-550	320-350
Rendimiento (%)	42-47	37-50

Como es posible observar la unión de estos ciclos permitiría alejar las temperaturas de los focos y aumentar la eficiencia de los mismos de la siguiente manera:

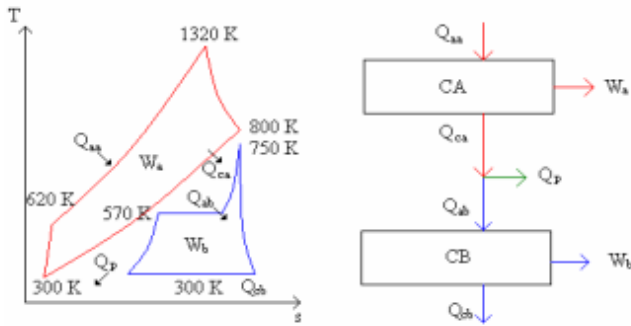


Figura A12. Ciclo combinado–Fuente Rapun J.199

Tabla A12. Ciclo combinado–Fuente Rapun J.199

Análisis de rendimiento	Ciclo combinado
Temperatura media de adición de calor (K)	950-1000
Temperatura media de cesión de calor (K)	320-330
Rendimiento (%)	63-68

Por esta razón se considera que un ciclo combinado es más eficiente que cualquiera de los dos ciclos por separado.

BIBLIOGRAFÍA

-ACUERDO por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, en términos de la Ley de Transición Energética. (2020, febrero). SEGOB.

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020

-Barbosa, J. (2018, mayo). Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México,. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330858/REPORTE_PAIS_CONUEE_CEPAL_JIN B.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330858/REPORTE_PAIS_CONUEE_CEPAL_JIN_B.pdf)

-Bioenergy. (2019). IRENA. <https://www.irena.org/bioenergy>

-Blance Nacional de Energía. (2010). SENER. http://www.cie.unam.mx/~rbb/ERyS2013-1/BalanceNacionaldeEnergia2010_2.pdf

-Chacón, D. (2017, 27 febrero). Metas para la generación distribuida solar. Energía a debate. <https://www.energiaadebate.com/blog/1293/>

-CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. (2020). CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf

-CONUEE. (2018). Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330858/REPORTE_PAIS_CONUEE_CEPAL_JIN B.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330858/REPORTE_PAIS_CONUEE_CEPAL_JIN_B.pdf)

-Duarte, C. (2006). Cambio Global. CSIC. http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/01/Cambio_global.pdf

-Edenhofer, O, Pichs-Madruga, R., & Sokona, Y. (2018). fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf

- Energí-a, C. N. D. C. (2018). Demanda de energía, un factor clave en el desarrollo de México. gob.mx. <https://www.gob.mx/cenace/articulos/demanda-de-energia-un-factor-clave-en-el-desarrollo-de-mexico?idiom=es>

-Energía, S. (2016a). Beneficios de la Generación Limpia Distribuida y la Eficiencia Energética en México. gov.mx. <https://www.gob.mx/sener/documentos/beneficios-de-la-generacion-limpia-distribuida-y-la-eficiencia-energetica-en-mexico>

-Energía, S. (2016b). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. gov.mx. <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-33462>

-Energía, S. (2016). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. gov.mx. <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-33462>

-Energía, S. (2016c). Se presenta la segunda subasta eléctrica en México. gov.mx. <https://www.gob.mx/sener/prensa/se-presenta-la-segunda-subasta-electrica-en-mexico>

-Energía, S. (2017, marzo). Beneficios de la Generación Limpia Distribuida y la Eficiencia Energética en México. gov.mx. <https://www.gob.mx/sener/documentos/beneficios-de-la-generacion-limpia-distribuida-y-la-eficiencia-energetica-en-mexico>

-Energía, S. (2018). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. gov.mx. <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-33462>

-Energy | Statistics | Renewable Energy Institute. (2020). Renewable Energy Institute. <https://www.renewable-ei.org/en/statistics/energy/>

-Energy Policies Beyond Countries: Mexico 2017 – Analysis. (2017). IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-policies-beyond-iaa-countries-mexico-2017>

-Hirth, L. (2013). The Market Value of Variable Renewables: The Effect of Solar and Wind Power Variability on their Relative Prices. *Energy Economics*, 37, 218-236.

- Hydropower. (2019). IRENA. <https://www.irena.org/hydropower>

-Implicaciones de la Ley de la Industria Eléctrica y la Ley de la CFE. (2014). PwC, Transformación del sector eléctrico mexicano. <https://www.pwc.com/mx/es/industrias/archivo/2014-08-transformacion-sectorelectrico-mexicano.pdf>

-INEL. (2016). Secretaría de Gobierno. <https://dgel.energia.gob.mx/qa/INEL/INELV5/>

-Ley de la Industria Eléctrica. (2014). Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión.
https://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/reforma_energetica/LIE.pdf

-Ley de transición energética. (2015). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

- Los hidrocarburos son nuestra principal fuente de energía. (2015, 17 noviembre). Energías de mi País. <http://energiasdemipais.educ.ar/la-matriz-energetica-argentina-y-su-evolucion-en-las-ultimas-decadas/>

-Los recursos naturales y sus transformaciones energéticas. (2015, 1 junio). Energías de mi País.
<http://energiasdemipais.educ.ar/energias-primarias-y-secundarias/>

- Los últimos cuatro años, los más cálidos registrados. (2019, 11 febrero). Noticias ONU.
<https://news.un.org/es/story/2019/02/145060>

-MEASURING THE SOCIO-ECONOMIC FOOTPRINT OF THE ENERGY TRANSITION. (2016). IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_-_Measuring_socio-economic_footprint_2019_summary.pdf?la=en&hash=98F94BCC01598931E91BF49A47969B97ABD374B5

-Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018. (2013). PwC.
http://awsassets.panda.org/downloads/130222_plan_integral_para_desarrollo_de_energias_renovables.pdf

-Rapuna, J. (1999). Modelo Matemático del comportamiento del ciclo combinado de turbinas de gas y vapor (1.a ed., Vol. 1). Universidad Politécnica de Madrid.

-Renewable Power Generation Costs in 2017. (2017). IRENA.
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018_summary.pdf

-Rethinking energy. (2017). IRENA.
https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_rethinking_energy_2017.pdf

-Rivera, A. (2005, 16 febrero). El Protocolo de Kioto entra en vigor. EL PAÍS: el periódico global.
https://elpais.com/diario/2005/02/16/sociedad/1108508401_850215.html

- Smil, O. G. V. (2010). Energy Transitions: History, Requirements, Prospects. Praeger.
- Sociedad, E. Y. (2017, 19 enero). 2. Seguridad de suministro. Energía y Sociedad.
<http://www.energiaysociedad.es/manenergia/seguridad-de-suministro/>
- Subastas Largo Plazo. (2019). CENACE.
<https://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/MercadoOperacion/SubastasLP.aspx>
- Villareal, T., & Tornel, C. (2017, noviembre). La Transición Energética en México: retos y oportunidades para una política ambientalmente sustentable y socialmente inclusiva. Library FES.
<http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13901-20171211.pdf>
- WEO-2017 Special Report: Energy Access Outlook – Analysis. (2017). IEA.
<https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017>
- Wind energy. (2019). IRENA. <https://www.irena.org/wind>
- World Energy Trilemma Index. (2018). World Energy Council.
<https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>
- World gross electricity production, by source, 2018 – Charts – Data & Statistics. (2017). IEA.
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2018>
- World Health Organization: WHO. (2018, 8 mayo). Contaminación del aire de interiores y salud. ONU. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>