



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – ECONOMÍA DE LA ENERGÍA

ORIGEN, CONTROVERSIAS Y DESAFÍOS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA  
1970–2050, LECCIONES PARA MÉXICO

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

PRESENTA:  
LESLIE AIKO AGUILAR CARRILLO

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. VÍCTOR RODRÍGUEZ PADILLA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, FEBRERO, 2022.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Álvarez Watkins Pablo

Secretario: Dra. Escobedo Izquierdo M. Azucena

1 er. Vocal: Dr. Rodríguez Padilla Víctor

2 do. Vocal: M.A.P. Torres Flores Ramón Carlos

3 er. Vocal: Dr. Ruíz Alarcón Fluvio César

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad de México.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Víctor Rodríguez Padilla

-----  
FIRMA

## AGRADECIMIENTOS

---

A mi mamá, por tu esfuerzo y dedicación para hacer mi vida mucho más fácil y bella. Por tu amor incondicional, tus pláticas y tu constante preocupación por mi bienestar. Yo no sé qué sería de mí sin ti.

A mi papá, por enseñarme que mi trabajo siempre tendrá su recompensa. Por mostrarme que las cosas buenas e importantes toman tiempo y esfuerzo, pero valen la pena. Por todo tu apoyo, tus consejos, por ser mi mejor amigo y guía.

A mis hermanos, por ser mi motivo. Deseo que cada una de mis acciones sea digna de considerarse un buen ejemplo para ustedes. A Emilio, por la dicha de haber crecido contigo, por hacer mis días llenos de luz y por ser mi eterno confidente. A Ximena, porque con tus ocurrencias y locuras conviertes cualquier simpleza en algo único. A Carol, por contagiarme de tu personalidad tan auténtica y desinhibida. Y a Santi, porque a pesar de ser el más pequeño, eres quien más lecciones me ha dado.

A mi tío Ulises, por ser un segundo papá para mí, pero más consentidor. Por interesarte tanto en cada paso que doy, por brindarme tu cariño y atención a lo largo de mi vida.

A mis primos, Brenda y Ulises, por su apoyo y cariño, pero principalmente, por los momentos compartidos en todos estos años en los que hemos crecido juntos. Estoy muy orgullosa de las personas en las que se han convertido.

A mi novio David, por tu amor y paciencia. Por confiar en mí, aun cuando yo no lo hago. Por darme fuerza y valor durante todo este proceso, por tu apoyo y tiempo. Que la vida me siga permitiendo crecer junto a ti, y este sea uno más de los logros que juntos hemos de alcanzar.

Al Dr. Víctor Rodríguez Padilla, por sus clases que me lograron capturar desde el primer instante, por ser una inspiración para mí, por su tiempo, paciencia y apoyo para la realización de este trabajo.

A mi Universidad, por brindarme esta oportunidad, por ser un hogar para mí, por las experiencias y aprendizajes. Por todo lo dado en los últimos años estaré eternamente agradecida. Muchas gracias.

Adicionalmente, agradezco el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) para la culminación de este proyecto.

## Contenido

<b>Introducción</b> .....	<b>6</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>11</b>
<b>Capítulo 1. ¿Qué es la Transición Energética?</b> .....	<b>12</b>
1.1    ¿En qué consiste la Transición Energética?.....	12
1.1.1    Significado .....	12
1.1.2    Naturaleza .....	13
1.1.3    Alcance .....	14
1.1.4    Impulsores e Instrumentos .....	15
1.1.5    Frenos y Resistencia .....	17
1.1.6    Factores Críticos .....	18
1.2    ¿Cuáles han sido las transiciones energéticas de la humanidad?.....	19
1.2.1    Enfoque Tradicional: Reemplazo de Energía.....	19
1.2.2    Enfoque Moderno: Transición Multidimensional .....	21
1.2.3    Enfoque Prospectivo: Hacia el Todo Eléctrico.....	23
1.3    ¿Cuál es el origen de la transición y sus implicaciones geopolíticas? .....	27
1.3.1    Por escasez de recursos .....	27
1.3.2    Por sobrevivencia planetaria.....	28
Resumen y Conclusiones del Capítulo 1.....	30
<b>Capítulo 2. ¿Qué Implica la Transición por Escasez de Petróleo? (1970-2020)</b> .....	<b>33</b>
2.1    ¿A qué se debe el agotamiento del petróleo? .....	33
2.1.1    Teoría Geológica.....	34
2.1.2    Teoría Económica .....	36
2.2    ¿En qué consistió la Crisis Petrolera de 1973 y cuáles fueron sus implicaciones?.....	38
2.2.1    Antecedentes.....	38
2.2.2    OPEC y el Embargo Petrolero .....	39
2.2.3    Consecuencias de las Crisis Petrolera.....	40
2.3    ¿Cuáles son las alternativas para el reemplazo del petróleo? .....	42
2.3.1    Recursos No Convencionales.....	42
2.3.2    Gas Natural y Electrificación del Sistema Energético .....	43
2.3.3    Eficiencia Energética.....	44
Resumen y Conclusiones del Capítulo 2.....	46

<b>Capítulo 3. ¿Qué Implica la Transición por Supervivencia Planetaria? (1990-2050).....</b>	<b>49</b>
3.1 ¿Cuáles fueron los primeros llamados de alerta? .....	50
3.1.1 Los Límites del Crecimiento: Informe Meadows (1972).....	50
3.1.2 Cumbre de la Tierra - Estocolmo (1972).....	52
3.1.3 Our Common Future: Informe Brundtland (1987) .....	54
3.1.4 Cumbre de la Tierra - Río de Janeiro (1992).....	56
3.1.5 Informes de Evaluación del IPCC .....	58
3.2 ¿Cómo afecta el uso de la energía en la destrucción de la Tierra? .....	61
3.2.1 Plantas Térmicas Convencionales .....	62
3.2.2 Energía Nuclear .....	64
3.2.3 Energías Renovables.....	65
3.2.4 Cambio Climático.....	67
3.3 ¿Qué estrategias y acciones se han implementado en respuesta al cambio climático? ....	69
3.3.1 Acuerdos Internacionales .....	69
3.3.2 Electrificación del Transporte.....	72
3.3.3 Desinversión de Combustibles Fósiles.....	76
3.3.4 Economía Verde .....	80
3.3.5 Transición Energética .....	82
3.4 ¿Quiénes y de qué forma se han resistido a la transición? .....	84
3.4.1 Movimiento Negacionista .....	84
3.4.2 Mercado del Gas Natural.....	92
Resumen y Conclusiones del Capítulo 3.....	95
<b>Capítulo 4. ¿Cuál es el Estado Actual de la Transición Energética en México? .....</b>	<b>102</b>
4.1 ¿Cuál ha sido la tentativa de Transición Energética? .....	103
4.1.1 Años 70: Hacia la autosuficiencia .....	103
4.1.2 Años 80: Diversificación energética .....	106
4.1.3 Años 90: Transición hacia el gas natural .....	109
4.2 ¿Qué compromisos ha asumido México en pro de la Transición Energética? .....	112
4.2.1 Marco Jurídico .....	112
4.2.2 Instrumentos de Planeación.....	115
4.2.3 Acuerdos Internacionales.....	119
4.3 ¿Cuáles han sido los avances y retrocesos de México en materia de Transición Energética?	
122	
4.3.1 Situación Actual .....	122

4.3.2 Política Energética vs. Política Ambiental .....	127
4.3.3 Prospectiva Energética Oficial .....	130
Resumen y Conclusiones del Capítulo 4.....	137
<b>Conclusiones .....</b>	<b>145</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>151</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>169</b>
Lista de Acrónimos .....	169
Índice de Figuras .....	172

## INTRODUCCIÓN

---

El cambio climático conlleva efectos negativos que a largo plazo podrían ser catastróficos para la humanidad. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) a través de sus Informes de Evaluación ha logrado identificar, cada vez con mayor certeza, las causas de este: las emisiones de efecto invernadero de origen antropogénico. En materia energética se observa un consumo desmesurado de combustibles fósiles y falta de eficiencia, pero también exceso de ambición y egoísmo ante las circunstancias por parte de los principales consumidores, el sector energético y los Gobiernos.

Gracias a la oportuna identificación del origen y los aceleradores del cambio climático, ha sido posible desarrollar múltiples soluciones para la mitigación y adaptación a sus efectos. Bajo mi consideración, el despliegue de una transición energética hacia un sistema diversificado y bajo en carbono no solo es una medida contra los estragos del cambio climático, sino una forma de garantizar el acceso a la energía, de fomentar prácticas más eficientes, de generar diferentes modelos de producción menos destructivos y más provechoso económica, energética y socialmente.

Alrededor del mundo se han implementado diversos instrumentos y estrategias para impulsar la transformación del sistema energético, se ha llegado a acuerdos que involucran a los países con mayor consumo de energía y niveles de contaminación, continuamente se desarrolla tecnología capaz de dar solución a los retos que implica una transición de tal magnitud; no obstante, el avance pareciera ser insignificante e insuficiente para generar un beneficio perceptible tanto en la población como en los indicadores energéticos y de contaminación.

Siendo esta la situación, me cuestiono ¿han sido suficientes las acciones hasta ahora implementadas? ¿qué hace falta para lograr el objetivo? ¿cómo se puede mejorar?

El objetivo general de esta investigación consiste en determinar el estado actual de la transición energética a nivel internacional y nacional, así como los esfuerzos que hoy en día la están promoviendo.

Una vez caracterizada la situación actual, considero posible reconocer fallas y debilidades, carencias y obstáculos que se oponen a los cambios necesarios para desplegar de forma eficiente y efectiva



la transición energética. De ese análisis será posible brindar recomendaciones para el caso mexicano en particular.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Construir un marco teórico lo suficientemente sólido que me permita comprender el origen de una transición energética, su comportamiento, los impulsores y obstáculos que la promueven o frenan, las tendencias y los factores críticos que la caracterizan.
2. Identificar el origen de la actual transición energética global y caracterizarla bajo los criterios anteriormente descritos.
3. Caracterizar la transición energética en México, identificar los esfuerzos realizados para promoverla, así como las acciones que la retrasan y, finalmente, brindar recomendaciones útiles tanto para los diseñadores de las políticas públicas como para la sociedad mexicana y la academia.

Con este trabajo probaré que los esfuerzos alrededor del mundo por promover la transición energética han sido mínimos o insuficientes, a pesar de la importancia y urgencia del despliegue de medidas en contra del calentamiento global y el cambio climático, de igual modo, que los compromisos adquiridos por México en materia energética y ambiental difícilmente serán alcanzados considerando las medidas hasta ahora implementadas.

Esa será mi hipótesis y la demostraré a través del estudio de la historia energética, su evolución y las características que han predominado durante las transiciones energéticas de la humanidad. Ese procedimiento me permitirá identificar un antes y un después tras los llamados de alerta, las estrategias y acciones en respuesta a la escasez de recursos y el cambio climático global, así como reconocer los avances y retrocesos de la transición energética en México tras la implementación de las políticas energéticas en los últimos años.

Uno de los problemas más graves que enfrenta la humanidad es el cambio climático, el cual desemboca en una serie de fluctuaciones severas de las características climáticas; dicho en otras palabras, una crisis climática que hoy en día tiene estragos sobre los ecosistemas, la humanidad y los sistemas urbanos, económicos y sociales. A decir verdad, cualquier evento climático es una combinación de diversos factores, sin embargo, de acuerdo con los Informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en los últimos años se ha logrado atribuir a la

contribución humana los cambios detectados en el sistema climático en consecuencia de las altas concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Los sectores económicos responsables de la mayor parte de dichas emisiones son el transporte y el propio sector energético, ambos asociados a la producción y quema intensiva de combustibles fósiles. A través de distintos medios se ha referido la necesidad de una transición hacia fuentes alternativas de energía que, por una parte, disminuyan la dependencia mundial a, los cada vez más escasos y costosos, combustibles fósiles; y por otra, sean una medida para mitigar el cambio climático y sus efectos negativos.

Bajo este contexto, encuentro útil definir el estado actual de dicha transición energética, caracterizarla, analizar los factores que la impulsan, así como aquellos que la retrasan, y determinar si las medidas y estrategias hasta ahora implementadas han sido suficientes para generar un cambio y la magnitud de este. De tal manera, es posible señalar los aciertos de tales acciones o, por el contrario, identificar debilidades y brindar recomendaciones útiles para fomentar la transición energética nacional.

El enfoque de esta investigación es más completo que el de otros trabajos que tratan el tema. Por ejemplo, Inglés (2020) hace una revisión del régimen internacional y nacional del cambio climático, es decir, de aquellas instituciones que trabajan para lograr la mitigación y adaptación a este fenómeno a través de Acuerdos Internacionales con objetivos y metas en común, así como la incorporación de medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales. Asimismo, lleva a cabo un análisis de las bases jurídicas para la transición energética en México, a partir de las cuales concluye un retroceso más que un avance. Sin embargo, el análisis se limita a los cambios implementados por la administración del presidente Andrés Manuel López Obrador. Por lo tanto, considero que un diferenciador de mi trabajo es el alcance de la investigación, el cual analiza las políticas energéticas desde la década de los setenta, lo que me permite brindar un panorama amplio de la situación nacional y recomendaciones bajo otra perspectiva.

De manera similar al trabajo anterior, Mendivil (2016) analiza las políticas detrás de la reforma energética de 2013 así como los instrumentos y mecanismos derivados del cambio de modelo organizativo y regulatorio. Concluye que la nueva legislación y las estrategias implementadas no impulsan la transición energética, por el contrario, la aplazan por el impulso al gas natural.

Carrillo (2019) se cuestiona por qué está fallando la política nacional de cambio climático. Para responder a esa pregunta analiza la Ley General de Cambio Climático (LGCC), promulgada bajo el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, así como de las

recomendaciones y conclusiones emitidas por el Instituto Nacional de Cambio Climático (INECC). Si bien el cuestionamiento inicial es muy similar al presentado en la tesis, el desarrollo se enfoca únicamente en la legislación, mientras que en la presente investigación se analiza el conjunto de objetivos, estrategias y acciones que promueven la transición energética como medida para mitigar los efectos negativos sobre el clima.

La tesis se organiza alrededor de cuatro capítulos. En el primero se busca brindar un marco teórico consistente el cual inicia con la definición del concepto de transición energética. Tal descripción abarca el significado del proceso bajo distintas perspectivas, la naturaleza del reemplazo de un sistema energético por otro, el alcance y los periodos de tiempo que toma la adopción de una nueva tecnología. Además, entender en qué consiste una transición energética requiere identificar de qué instrumentos se asiste para impulsar la transformación del sistema energético, así como de las herramientas que diversos actores se valen para crear resistencia a dicho cambio.

Posteriormente, se lleva a cabo una descripción de las transiciones energéticas que ha vivido la humanidad. Dicho análisis se realiza en orden cronológico y bajo tres distintas perspectivas: el enfoque tradicional, el cual se basa en el reemplazo de una fuente de energía por otra ya sea por la escasez de esta o debido a la búsqueda de un recurso más eficiente; el enfoque moderno, en el que la transición energética deja de ser únicamente la sustitución de una fuente o tecnología, para ser una transformación integral que incorpore a la política, ecología, sociología y economía; y el enfoque prospectivo que, con base en las tendencias de consumo energético actuales, identifica que el futuro será en el que la demanda energética será cubierta en su totalidad con electricidad.

Por último, a manera de preámbulo para los siguientes capítulos, se establece el origen de la actual transición energética, la cual se asocia a dos causas: la escasez de recursos, principalmente aquellos de origen fósil, y por la búsqueda de una solución a la crisis energética y ambiental originada en consecuencia del cambio climático.

A lo largo del segundo capítulo se describen las implicaciones políticas, económicas y energéticas de la escasez del petróleo en el mundo. Para tal objetivo, en primer lugar, se dan a conocer las teorías que describen el agotamiento de los recursos fósiles. Por un lado, las suposiciones basadas en las pruebas geológicas y de producción, y por otro, la hipótesis económica sobre la sustitución eficiente de reservas.

Posterior a ello, es importante comprender las consecuencias políticas, económicas y energéticas tras la privación de un recurso como lo es el petróleo. Dicha situación se resume con lo que fue la crisis petrolera en 1973, tras el embargo petrolero por parte de los países pertenecientes a la OPEC sobre naciones importadoras como Estados Unidos, Países Bajos, Portugal, entre otros, y cuyas consecuencias constituyeron un llamado de alerta para los países dependientes del petróleo de Medio Oriente.

Por último, se describen las alternativas desarrolladas como reemplazo del petróleo, entre las que destacan los recursos no convencionales (shale gas), la implementación de gas natural como principal combustible para la generación de energía eléctrica y la promoción del ahorro, aprovechamiento, uso eficiente y la conservación de la energía.

En el tercer capítulo, se fundamenta el por qué es inevitable una transición energética para asegurar la sobrevivencia planetaria. Para empezar, es necesario conocer los estudios que advirtieron, que de seguir con un modelo económico y de desarrollo altamente extractivo, se provocaría una crisis energética y ambiental con estragos sobre los ecosistemas, la humanidad y los sistemas urbanos, económicos y sociales. Sabiendo que el sector energético y transporte son los mayores consumidores de energía y, por ende, responsables de la mayor parte de las emisiones en la atmósfera, resulta fundamental comprender de qué manera afecta el uso de la energía en la destrucción del planeta, la calidad de vida y la salud humana.

Posteriormente, se analizan las estrategias y acciones que se han implementado alrededor del mundo con el fin de mitigar el cambio climático y sus consecuencias, tales como los Acuerdos internacionales, la electrificación de sectores clave, medidas más drásticas como la desinversión de combustibles fósiles, cambios en los modelos de producción actuales siguiendo las propuestas de conceptos como la economía verde e, inevitablemente, el reemplazo del sistema energético basado en el uso de combustibles fósiles por un sistema diversificado y bajo en carbono. Hacia el final del capítulo se indican los actores y motivos por los que se resisten a la transición energética, así como las herramientas y acciones de las que se valen para limitar o inclusive frenar por completo el despliegue de la transición.

En el cuarto capítulo se define el estado actual de la transición energética en México. Se analizan las políticas públicas desde 1970 y la forma en que, a partir de estas, se ha ido transformando el sistema energético mexicano hasta llegar a la actualidad.

Tras identificar los antecedentes y la situación actual, se detallan los compromisos, acciones y estrategias que México ha asumido con el objetivo de desplegar y acelerar la transición energética hacia un sistema diversificado y bajo en carbono. Se ha decidido distinguir dichos instrumentos como aquellos que son parte del marco jurídico nacional, aquellos que funcionan como instrumentos de planeación y los acuerdos internacionales a los que México se ha sumado. Se determinan los avances de la transición energética a partir de las medidas implementadas. Asimismo, se identifican los retrocesos producidos tras la promulgación de diversas políticas energéticas que no necesariamente coinciden con el concepto y las implicaciones de una transformación del sistema energético.

## RESUMEN

---

La transición energética es una de las medidas fundamentales para solventar la escasez de recursos fósiles, así como parte de la mitigación del cambio climático. Una transformación del sistema energético implica modificaciones técnicas, tecnológicas, sociales y económicas, por lo que se trata de un proceso de largo plazo. Particularmente, la transición actual (1970-2050) se dirige hacia un sistema diversificado y bajo en carbono. Por una parte, la crisis petrolera (1973) permitió ver lo endeble del sistema energético, la vulnerabilidad ante las circunstancias políticas y la necesidad de encontrar alternativas para el reemplazo del petróleo. Por otra, tras los diversos llamados de alerta de una crisis ambiental derivada principalmente por el uso excesivo de energía producto de la quema de combustibles fósiles, se ha buscado implementar estrategias y acciones alrededor del mundo con el fin de acelerar la transformación del sistema energético. De manera general, el panorama y la prospectiva energética no parecieran haber evolucionado lo suficiente para combatir la problemática. El caso mexicano no es la excepción; se ha modificado el marco jurídico, adquirido compromisos de índole internacional, e incluido metas de transición energética en los instrumentos de planeación, sin embargo, el avance no resulta esperanzador para cumplir con lo acordado y, sobre todo, asegurar la sobrevivencia planetaria.

## Palabras clave

Transición energética, desarrollo sostenible, política energética, cambio climático, energías renovables, energías limpias, diversificación energética.

## CAPÍTULO 1. ¿QUÉ ES LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

---

De manera general, puede entenderse el concepto de transición energética como el proceso que enmarca una serie de cambios dentro del sistema energético. A pesar de no tratarse de una idea nueva, ha tomado especial atención durante los últimos años por parte de gobiernos, organizaciones y académicos por ser parte de la estrategia internacional para la mitigación del cambio climático.

A lo largo del tiempo se han presentado diversas transiciones de un sistema de energía a otro, originadas e impulsadas por variadas razones e implicaciones. Tras el análisis del comportamiento y las características de estos procesos, será posible identificar y caracterizar patrones útiles para el estudio del periodo de tiempo del interés de la presente investigación. Por otro lado, y dada la complejidad y la vasta información que comprende el concepto, es imprescindible definir aquellos elementos fundamentales para el completo entendimiento de los sucesivos capítulos.

Bajo estas premisas es posible mencionar que el objetivo del capítulo es sentar las bases teóricas de cualquier transición energética, que a su vez permitan establecer la importante relación que existe entre el sector energético y la actividad económica, política y ambiental tanto a nivel nacional como internacional.

Este capítulo se compone de tres secciones. En la primera se presentan los elementos teóricos clave para conceptualizar el tema, comprender su importancia y el impacto que este proceso puede traer a los sectores asociados. En la segunda sección se exponen las transiciones energéticas más importantes en la historia de la humanidad bajo tres enfoques diferentes que permiten identificar las principales características de cada una de ellas. Por último, se describen las causas que dieron origen a las transiciones antes mencionadas, así como las consecuencias e implicaciones geopolíticas que los cambios en el sector energético han significado.

### 1.1 ¿EN QUÉ CONSISTE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

#### 1.1.1 Significado

En relación con la definición de *transición energética*, no existe un significado único y general; sin embargo, resulta fundamental entenderlo como un proceso integral, y no únicamente por sus etapas iniciales o finales. Por lo general, el término se refiere para describir el cambio gradual de un

modelo específico del suministro energético a un nuevo sistema de energía. No obstante, este cambio no sólo implica modificaciones técnicas o tecnológicas, sino que, responde a una serie de sucesos sociales y económicos como son la industrialización, urbanización o el crecimiento de la sociedad de consumo.

Siguiendo la idea de que una transición energética involucra cambios en diversos sectores, también podría definirse como el cambio de un sistema económico dependiente en un o una serie de recursos energéticos y tecnológicos a uno diferente (Fouquet, 2012). Aunque la implicación de un cambio es suficientemente clara, no existe ningún acuerdo sobre el final deseado; es decir, hay países en los que una transición significa incrementar la disponibilidad y asequibilidad de servicios energéticos modernos, aunque esto involucre un aumento en la intensidad de carbono; mientras que para otros el cambio se encuentra dirigido hacia un futuro seguro y bajo en carbono con ambiciosos objetivos en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (Bridge, Bouzarovski, Bradshaw y Eyre 2013).

### 1.1.2 Naturaleza

Históricamente, la lógica de este fenómeno ha sido el reemplazo de un sistema energético por uno de mayor calidad, dicho en otras palabras, lograr colocar una tecnología de nicho al mercado convencional. No obstante, su desarrollo e implementación dependerá de una curva de aprendizaje exitosa que permita disminuir sus costos, y de que su crecimiento sea capaz de difundir un nuevo mercado o la sustitución de uno existente (Fouquet, 2010). Además, el proceso de innovación está influenciado por actores encargados de velar por sus propios intereses, oposición social y otro tipo de externalidades.

Al profundizar en el análisis de las transiciones pasadas es posible identificar que la naturaleza de éstas radica principalmente en algún cambio significativo dentro de los patrones de consumo, destacándose la interacción de tres características independientes entre sí: cantidad, es decir, el aumento en el consumo de energía debido a un crecimiento en la población o del desarrollo económico; estructura, la transición de las fuentes de energía convencionales hacia aquellas modernas e innovadoras; y calidad, las características energéticas y ambientales de las formas de energía usadas, que bien podrían traducirse a aquellas que brindan mayor productividad y eficiencia (Grübler, 2004).

Otro rasgo fundamental de cualquier transición es el tiempo. Se caracterizan por abarcar largos periodos de tiempo, ya que implica un cambio en los agentes e instituciones involucradas, y por lo general son las nuevas generaciones quienes experimentan las consecuencias del cambio. (Fouquet y Pearson, 2012). Los periodos de cambio suelen tomar hasta cientos de años, mientras las invenciones son absorbidas, difundidas y logran alcanzar el dominio de determinado sector o servicio en particular. Las experiencias más rápidas dentro de la cadena de innovación se han llevado a cabo en no menos de 50 años.

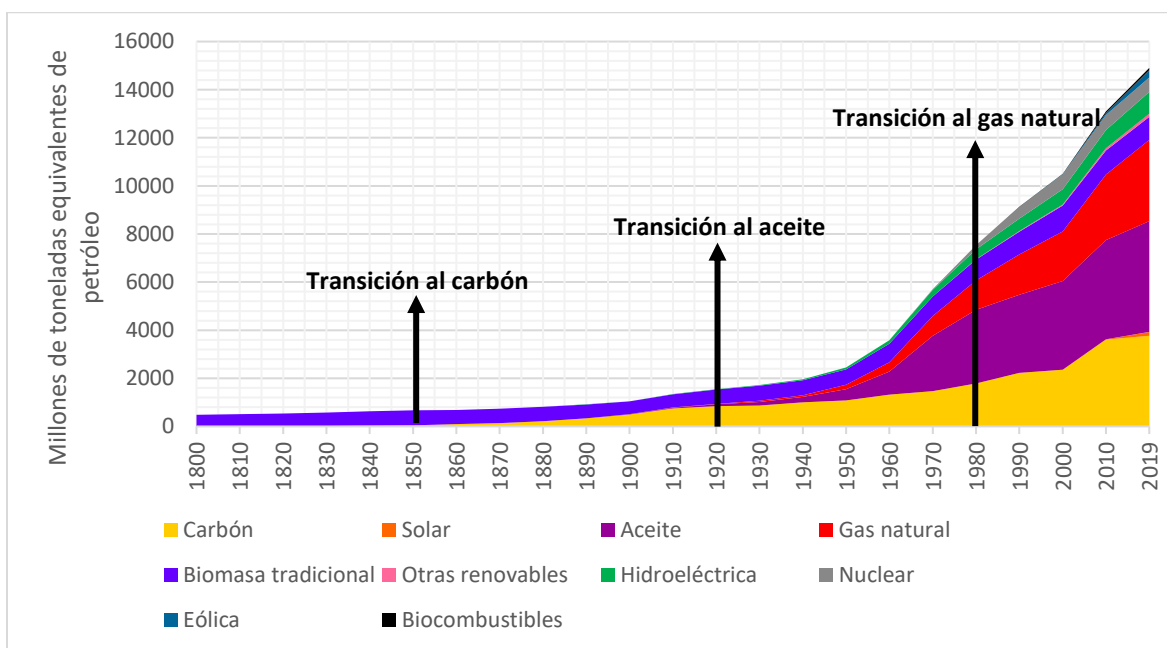


Figura 1.1. Consumo energético mundial y transiciones energéticas. Fuente: Figura adaptada de Fouquet y Pearson (2012) con datos de ourworldindata.org

La experiencia histórica además sugiere que las transiciones energéticas se han caracterizado por un incremento en el consumo de energía (Grübler, 2004). De acuerdo con lo mostrado en la Figura 1.1, la tendencia muestra que cada transición de un energético a otro ha implicado un mayor consumo, aunque este crecimiento sea mucho más lento para aquellos nuevos recursos. Por lo que una transición hacia tecnologías bajas en carbono no es garantía que habrá una reducción en el consumo de combustibles fósiles (Fouquet y Pearson, 2012).

### 1.1.3 Alcance

Cualquier transición energética se trata de una transformación del sistema energético que busca un beneficio en la calidad de vida de los seres humanos, por ende, no solo requiere de un sistema político efectivo para impulsar el cambio, sino que conlleva modificaciones económicas y sociales.



La complejidad del proceso se halla en que el compromiso de un cambio total en el sistema político, económico y social, convierte la transformación un tanto impredecible. Ya que de la misma manera que puede involucrar riesgo e incertidumbre, en su gran mayoría, se logran importantes mejoras para la humanidad. Además, cabe recordar que, por tratarse de un cambio lento, sus beneficios también tardan décadas en ser tangibles para la sociedad. Principalmente en la etapa temprana de la transición, su impacto y bienes se encuentran sujetos a la distribución del ingreso. Es decir, los grupos con mayor ingreso suelen ser quienes adquieren acceso a las innovaciones esencialmente por los altos costos que frecuentemente tienen al inicio de su desarrollo (Rubio y Folchi, 2012).

Aunque el proceso de cambio se origina por la necesidad de un cambio en particular, para lograr su evolución y desarrollo es necesaria la participación del ámbito nacional e internacional, de todos los sectores y niveles. Desde la gestión política que posee instrumentos para facilitar y acelerar el proceso; la academia con la generación de capital humano como científicos, ingenieros y técnicos; instituciones financieras funcionando como base y apoyo para el desarrollo de proyectos; hasta los consumidores dispuestos a adoptar determinados cambios tanto técnicos como en sus patrones de consumo, lo que resulta una tarea compleja considerando que suelen ser costumbres históricas y arraigadas.

#### 1.1.4 Impulsores e Instrumentos

Como se mencionó anteriormente, una transición energética es un proceso de cambios en el sistema energético que se lleva a cabo en un largo periodo de tiempo, por lo que no implica el abandono radical de algún recurso o fuente. Por el contrario, en función de una serie de factores clave es que la transición se va dando de forma gradual; siendo algunos de éstos de efecto ambivalente en la velocidad de cambio, en ocasiones positivo o negativo de acuerdo con su comportamiento.

##### *Precio*

A lo largo de la historia, el precio de cualquier servicio energético ha sido clave para permitir la entrada y el crecimiento de éste en el mercado convencional. Constantemente los beneficios de alguna innovación tecnológica son opacados ante los altos costos que su implementación involucra, por lo que resulta fundamental acelerar su curva de aprendizaje. De esta manera no solo se disminuye el precio, sino que el bien o servicio se vuelve accesible para un mayor número de consumidores; finalmente logrando evolucionar de un mercado de nicho hacia uno mucho más competitivo. Además, ha sido demostrado que las fuentes de energía desarrolladas dentro de este

tipo de mercados, cuando sus precios son lo suficientemente baratos es más probable que una transición energética se efectúe (Fouquet y Pearson, 2012). Por otra parte, el petróleo se considera una variable efectiva y destacada en la estructura y funcionamiento de la comunidad global en el siglo XXI, por lo que su precio ha jugado un papel crucial en la creación de relaciones, competencias, divergencia y convergencia entre actores internacionales (Behrouzifar, Siami Araghi y Emami Meibodi, 2019), discusión que será retomada en el siguiente capítulo.

### *Eficiencia*

Uno de los principales impulsores de la transición energética, es ofrecer una nueva fuente o tecnología que brinde el mismo servicio, pero con características superiores o adicionales, tales que los consumidores estén dispuestos a pagar por ellas (Fouquet, 2010). Ciertamente, la sustitución de una fuente de energía primaria por una alternativa responde más a las ventajas y oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías, que a situaciones críticas de escasez o agotamiento del recurso (Acosta, 2011). Por ejemplo, la máquina de vapor permitió impulsar la producción en la industria, evitando las limitaciones que la fuerza humana o de animales implicaba; su costo se solventaba con los beneficios que ofrecía. Se ha llegado a comprobar que aumentar la eficiencia en sistemas particulares, reflejan una mejora del rendimiento de economías enteras (Smil, 2010).

### *Política*

Aunque la historia nos dice que, en la mayoría de los casos, el gobierno no había tenido una participación considerable en las transiciones previas, actualmente su intervención resulta crucial. Sus objetivos e ideologías suelen ser esenciales en la adopción y apoyo de determinadas tecnologías. Por un lado, la aceptación de cualquier bien o servicio en los mercados no son sólo resultado de la competencia, sino que es consecuencia de las estrategias políticas de cabildeo desarrolladas con las empresas para facilitar su entrada (Rubio y Folchi, 2012). Por otro lado, su participación brinda seguridad a inversionistas y empresarios al generar un ambiente fiable en el que las nuevas tecnologías y fuentes energéticas puedan desarrollarse y madurar. (Fouquet y Pearson, 2012). Comúnmente los Estados emplean diversos instrumentos políticos para fomentar el crecimiento y mejora de tecnologías en particular, entre ellos se incluye la divulgación de información, regulaciones directas, el financiamiento de proyectos de investigación y desarrollo, impuestos, subsidios gubernamentales, entre otros incentivos.

### 1.1.5 Frenos y Resistencia

De la misma manera que existen instrumentos y actores capaces de acelerar la transición energética, es imprescindible identificar aquellos elementos que crean resistencia, y limitan o frenan por completo la transformación.

#### *Trayectorias Dependientes (Path Dependence)*

Este concepto significa que lo que sucedió en un momento anterior afectará los posibles resultados de una secuencia de eventos que ocurren en un momento posterior (Sewell, 1996), aunque las condiciones pasadas ya no sean relevantes. Dicho en otras palabras, una trayectoria dependiente significa que una vez que un país o una región han comenzado por un camino, los costos de reversión son muy altos (Levi, 1997). Esta dependencia genera inercia en las elecciones con limitantes como los costos de inversión hundidos, la interrelación de tecnologías o los efectos que éstas puedan traer a la red; esta idea explica por qué mucha tecnología nueva no ha sido adoptada, aunque implique una mayor calidad o beneficio económico (Araújo, 2014). Basta como ejemplo el caso de ciertos países sudamericanos que enfrentaron un proceso de industrialización temprano y desplegaron la tecnología necesaria para explotar sus recursos de carbón; posteriormente, cuando inició la transición hacia un modelo basado en petróleo, fueron impedidos por la existencia de infraestructura para carbón que permanecía en buen estado.

#### *Redes Comerciales*

Existen diversas relaciones o redes de comercio, ya sea de combustibles o tecnologías, mismas que han permanecido durante años y generan tensión entre naciones y/o proveedores al verse vulneradas. Estos lazos comerciales suelen estar sujetos no solamente a la proximidad geográfica o al consumo de determinado recurso, sino a complejos contratos y estrategias políticas. Ejemplo de esto es la importante presencia que tiene Estados Unidos en el suministro energético de petróleo en varios países latinoamericanos y caribeños, y que tienden a persistir en el consumo de combustibles fósiles (Rubio y Folchi, 2012).

#### *Aceptación Social*

Otro tipo de oposición a la transición energética se presenta desde la perspectiva de la demanda, siendo los consumidores parte de los actores clave del sistema. Independientemente de los precios logrados o los beneficios ofrecidos, la confianza del consumidor, su aceptación y el proceso de domesticación de determinada tecnología ha resultado crítico y definitivo. Es fundamental

identificar y reflejar las prioridades y problemas de los usuarios en el desarrollo de cualquier bien o servicio nuevo, así como sus valores y preferencias culturales (Fouquet y Pearson, 2012).

### 1.1.6 Factores Críticos

En adición a lo anteriormente mencionado, una transición energética requiere de la invención o adaptación de determinados instrumentos o métodos clave para el despliegue de cualquier transformación al sistema energético. De entrada, dados los altos costos que los proyectos del sector involucran, los mercados financieros y el acceso al capital resultan esenciales para el progreso o restricción de las transiciones (Fouquet y Pearson, 2012). Es importante contemplar diferentes fuentes de financiamiento según la naturaleza del plan o estrategia: recursos nacionales públicos, la actividad financiera y comercial privada, la cooperación internacional para el desarrollo, el comercio internacional y los préstamos soberanos (Aguirre, 2019). Incluso, es común ver la evolución simultánea de estos instrumentos adaptándose a las innovaciones tecnológicas.

La participación de los mercados es fundamental para las transiciones. Por un lado, los mercados específicos o de nicho brindan protección a las nuevas tecnologías, les permiten competir contra otras de características similares, ser probadas y mejoradas, para que finalmente sean capaces de migrar hacia el mercado convencional con una menor incertidumbre; además, que los usuarios de los mercados de nicho suelen ser menos sensibles a los precios o están dispuestos a pagarlos a cambio de las ventajas que el servicio o bien ofrece (Pearson y Foxon, 2012). Por otro lado, los mercados convencionales debieran ser flexibles y adaptables a la entrada de nuevas tecnologías, así como, ofrecer el mismo conjunto de características que brindan a las tecnologías existentes, o inclusive mejores por representar un beneficio mayor o determinada ventaja entre las demás.

La investigación y el desarrollo son una parte fundamental para que cualquier tecnología evolucione, mejore y logre alcanzar su objetivo de manera eficiente y económicamente viable, únicamente de esta forma ganará una mayor aceptación tanto en el mercado como con los consumidores. Simultáneamente, debe llevarse a cabo la inversión en el capital humano, aquellos profesionistas que sean capaces de desplegar, operar y mejorar cualquier tipo de plan, estrategia o tecnología.

## 1.2 ¿CUÁLES HAN SIDO LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS DE LA HUMANIDAD?

### 1.2.1 Enfoque Tradicional: Reemplazo de Energía

Desde y durante el periodo de la prehistoria, la especie humana se basó únicamente en su fuerza corporal para asegurar su suministro de alimentos y refugio. Más tarde, se encontró que el trabajo humano era una forma ineficiente de convertir la energía, lo que orilló a la domesticación de animales y aprovechamiento del fuego para la producción de diversos metales, cambios que se constituyeron como la primera gran transición energética (Smil, 2004). Incluso entre animales existieron sustituciones con el objetivo de realizar trabajos más eficientes, por ejemplo, se encontró que el caballo proporcionaba mayor fuerza y mejor dirigida que el buey, lo que produjo el crecimiento de la población de caballos, hasta convertirse en la principal fuente de servicios de energía relacionados con animales.

Algunos milenios más tarde se inició la segunda transición, no tan universal ni profunda como la primera, ya que sus efectos permanecieron sólo en algunos lugares. El cambio se produjo cuando ciertos esfuerzos musculares fueron sustituidos por molinos de agua y viento (Smil, 2004). Éstos comparados con los animales, brindaban una forma de energía mucho más intensa y concentrada. Estos simples motores podrían considerarse los primeros intentos por aprovechar los dos flujos de energía renovables con mayor potencia y eficiencia.

La tercera transición energética se llevó a cabo hace apenas unos siglos, e inició en algunos países europeos como respuesta al proceso de industrialización. En una época preindustrial, prácticamente todos los países cubrían sus necesidades de calor por medio de la quema de combustibles de biomasa, principalmente la leña. Hubo quienes se permitían el uso de carbón vegetal obtenido de diferentes especies de madera, cubriendo un mayor precio por él debido a la combustión sin humo que generaba. Este tipo de carbón llegó a ser muy utilizado inicialmente en la industria de los metales, pero más tarde su demanda fue tal que ciudades e industrias crecieron en función de la disponibilidad de este recurso. Más aún, su elevado uso causó una extensa deforestación; escasez que precipitó la transición de la leña y carbón vegetal hacia el uso del carbón (Smil, 2010).

La última gran transición energética, comenzó aproximadamente en los primeros años del siglo XVIII y se considera que su efecto aún no surte efecto en países de economías de bajos ingresos, particularmente en África. Los precios del carbón fueron determinantes para su desarrollo, se comparó su rendimiento contra el de la leña, y se encontró que el del carbón era superior. Lo que

ocasionó un declive en el precio de éste y, en consecuencia, una mejora en los procesos de extracción. Posteriormente, la producción del carbón tuvo un impulso adicional con la invención de la máquina de vapor, lo que introdujo a la industria el uso de coque, una forma poco más purificada del carbón.

Para el año 1750, el coque había sido aceptado completamente. Pronto comenzó la explotación de este recurso a gran escala alrededor del mundo. Tres grandes tendencias marcaron la producción mundial de carbón durante el siglo XX: la disminución continua de su importancia relativa, el crecimiento de su participación en el suministro total de energías primarias y la transformación de una industria altamente intensiva en mano de obra a una industria mecanizada (Smil, 2010). En la mitad del siglo, el carbón siguió desempeñando un papel fundamental debido a su contribución a la generación de electricidad.

A pesar de su importancia, las importaciones y el crecimiento de producción internacional de crudo y gas natural redujeron considerablemente la extracción de carbón. Respecto al uso del petróleo y sus métodos de producción, fue un proceso que se venía madurando desde el siglo XVIII, sin embargo, tras el descubrimiento de yacimientos gigantes alrededor del mundo y en bajo un contexto de posguerra, el impulso económico por parte de Estados Unidos detonó el desarrollo de la demanda de aceite. Durante el siglo XX, los motores de combustión interna reemplazan por completo a las máquinas de vapor como la principal tecnología de conversión de energía (Solomon y Krishna, 2011).

Indiscutiblemente, el crecimiento de la industria automotriz y petrolera se complementó una a la otra. Los principales descubrimientos mundiales de petróleo condujeron a la producción excedente y a la disminución de los precios de combustibles a principios del siglo XX. Casi al mismo tiempo, Henry Ford y Alfred Sloan transformaron la industria del automóvil de una producción artesanal a la era de la producción en masa (Solomon y Krishna, 2011).

Independientemente de los avances en la industria petrolera y los crecientes volúmenes de producción de crudo, el uso de gas natural no pudo convertirse en un combustible doméstico e industrial importante hasta el desarrollo y comercialización de infraestructura para su uso eficiente y seguro, como: la introducción de tuberías de gran diámetro y alta presión capaces de transportar mayores volúmenes de gas a distancias más largas, compresores eficientes para impulsar el gas a través de las tuberías y quemadores capaces de mezclar el gas y el aire en la proporción correcta para producir una llama segura para cocinar y calentar (Smil, 2012).

### 1.2.2 Enfoque Moderno: Transición Multidimensional

Aunque las transiciones energéticas pasadas han sido sinónimo de un mayor y mejor nivel de vida en muchas partes del mundo, su efecto ha sido intangible para aquellas economías de bajos recursos. La innovación tecnológica no se ha visto acompañada por la disminución de las disparidades entre sociedades ricas y pobres, tan solo en los últimos años, aproximadamente el 10% más rico de la población mundial consumía más del 40% de toda la energía primaria (Smil, 2004).

Bajo este contexto, se han descrito diversidad de enfoques socio-técnicos para intentar formar un puente entre la economía evolutiva y los estudios tecnológicos. Uno de los marcos más prometedores es la Perspectiva Multi-Nivel (MLP, por sus siglas en inglés), en él se ha tratado de señalar que una transición no solo involucra la sustitución de tecnología, sino que, además, implica cambios en las prácticas de los usuarios, regulación, redes industriales, infraestructura, mercados, cultura, entre otros (Geels, 2002).

En el enfoque MLP se sintetizan los cambios relacionados con una transición tecnológica considerando los niveles micro, meso y macro de un régimen. En el nivel micro, se desarrolla la tecnología en un mercado de nicho, que como se mencionó anteriormente, sus características son altamente ventajosas para las innovaciones al brindarles protección, competencia, familiarización entre usuarios y productores, y la reducción de costos.

Dentro del nivel macro, se define como *paisaje* a las instituciones políticas, sociales y culturales que conforman la estructura de la sociedad. Este paisaje no es fácil de reconfigurar y tiende a cambiar de forma lenta, ya que los elementos que la constituyen suelen estar alineados y vinculados entre sí y con otros factores externos. En este nivel, las tendencias económicas y las actitudes de la sociedad prevalecen sobre las discusiones de protección ambiental, cambio climático y escasez de recursos.

El nivel meso es visto como la variable que experimenta el cambio, dicho en otras palabras, es el régimen socio técnico en donde se transforman los procesos de producción, las características del producto, sus habilidades y procedimientos, así como, las instituciones e infraestructura que son parte del sistema tecnológico (Bennett, 2012). No obstante, los cambios radicales en el régimen pueden venir principalmente del nivel de micro, por medio de la aparición de tecnologías innovadoras, o bien, desde el nivel macro, a través de eventos o tendencias geopolíticas.

En resumen, el enfoque MLP amplía la idea de la transición que se encuentra basada en políticas, demografía, ecología, sociología y economía, agregando objetivos relacionados con el desarrollo sostenible (Araújo, 2014), concepto que busca mejorar las condiciones de vida presentes sin comprometer los recursos disponibles para las generaciones futuras.

Bajo el alcance del desarrollo sostenible, en el año 2015 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) junto a los Estados Miembros aprobaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dentro los cuales reconocieron que la erradicación de la pobreza en todas sus formas y dimensiones, es el mayor desafío al que se enfrenta el mundo y que los ODS son de carácter integrado e indivisible, mediante un enfoque integral que requiere abordar el desarrollo sostenible como una necesaria unión de los ejes social, económico y medioambiental (ONU, 2015).

La situación actual, a nivel global, requiere de acciones para prevenir el cambio climático y otros desafíos complejos como la pobreza y las desigualdades. La ONU plantea que todos los países implementen acciones para alcanzar los ODS, ya que el logro de algunos países tendría efectos positivos en otros e incluso en el mundo. Para ello se elaboró la Agenda 2030, un plan de acción compuesto por 169 metas, reconociendo que cada país dispone de diferentes enfoques, visiones de futuro, modelos e instrumentos para lograr el desarrollo sostenible en función de sus circunstancias y prioridades; además de actuar como guía práctica para la adaptación de herramientas a los marcos institucionales, normativos y culturales de cada país (PNUD, 2019).

Bajo el mismo enfoque multidimensional, el Consejo Mundial de Energía (WEC, por sus siglas en inglés) desarrolló el Trilema Energético, una forma de evaluar el éxito de la política y la transición energética de los países, con la premisa de mitigar el cambio climático y generar prosperidad económica (WEC, 2010). Dicho de otra manera, es una manera de evaluar el progreso hacia la sostenibilidad energética, para lo cual se consideran tres dimensiones esenciales (Figura 1.2):

1. *Seguridad Energética*: refleja la capacidad de un país para cubrir la demanda actual y futura, resistir y sobreponerse rápidamente a los choques del sistema con una interrupción mínima del suministro. Esta dimensión evalúa la efectividad de la gestión de las fuentes de energía domésticas y externas, así como la confiabilidad y resiliencia de la infraestructura energética.
2. *Equidad Energética*: Evalúa la capacidad de un país para brindar acceso universal a energía confiable, asequible y abundante. La dimensión valora el acceso básico a la electricidad, combustibles y tecnologías limpias para cocinar, el acceso a niveles de consumo de energía



adecuados para la prosperidad, y la asequibilidad de la electricidad, gas y otros combustibles.

3. *Sustentabilidad Ambiental*: representa la transición del sistema energético de un país hacia la mitigación y prevención del daño ambiental e impactos del cambio climático. Esta dimensión se centra en la productividad y eficiencia de generación, transmisión y distribución de energía, descarbonización del sistema, y mejora de la calidad del aire.

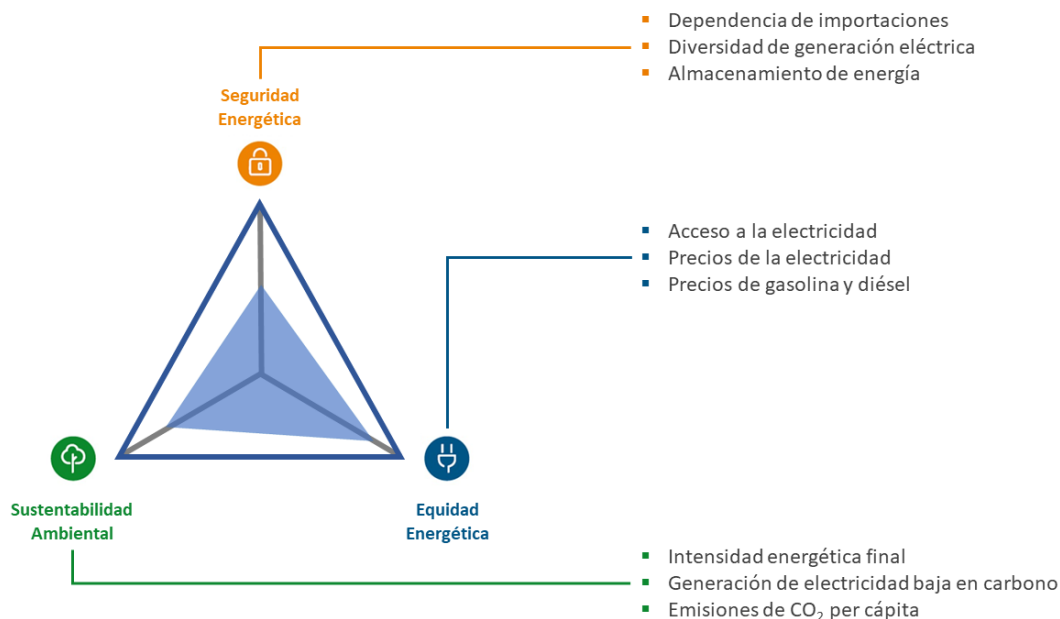


Figura 1.2. Dimensiones del Trilema Energético y medidas clave de evaluación. Fuente: Figura adaptada de WEC (2010).

Anualmente, el WEC clasifica el desempeño energético de 128 países en las tres dimensiones de acuerdo con datos globales y nacionales, emite recomendaciones para mejorar la coherencia e innovación de políticas, destaca los desafíos de un país para equilibrar el Trilema Energético y las oportunidades para mejorar el cumplimiento de los objetivos energéticos actuales y futuros (WEC, 2010).

### 1.2.3 Enfoque Prospectivo: Hacia el Todo Eléctrico

El desarrollo económico ha sido el principal detonador del consumo energético actual. Por una parte, el aumento en el ingreso per cápita ha permitido satisfacer necesidades a través de la adquisición de bienes que consumen energía como boilers, autos, electrodomésticos y aparatos electrónicos. Por otro lado, las innovaciones tecnológicas como el uso de computadoras personales

y teléfonos celulares representan adiciones en la cantidad de demanda final de energía (Lescaroux, 2011).

Otra característica del desarrollo es el crecimiento de la población mundial, el ascendente poder económico de las naciones, la expansión del comercio mundial y la globalización que, a pesar de las innovaciones tecnológicas, ha dado como resultado un incremento en la demanda de energía eléctrica y en la complejidad de los sistemas energéticos actuales. De acuerdo con datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) aproximadamente el 67% de la producción de combustibles fósiles es utilizada únicamente para la generación de energía eléctrica (IEA, 2017).

Este comportamiento y tendencia energética nos permite identificar que el futuro potencial será aquel en el que la demanda energética será cubierta en su totalidad por la electricidad (Lechtenböhmer, Nilsson, Åhman, y Schneider, 2016). Por lo que una transición de tal magnitud no solo implicará el despliegue de innovaciones tecnológicas e incentivos económicos, sino, la modificación de conductas y patrones de consumo. Es decir, se trata de una co-evolución entre la tecnología con las prácticas sociales (Hammond y Pearson, 2013).

Esta transición está en función de la evolución que tendrá el sector eléctrico. Que a su vez está sujeto tanto al comportamiento de la oferta como de la demanda. Por parte de la oferta, se ha propuesto el aumento de la participación de las energías renovables y bajas en carbono en la matriz energética, medidas de eficiencia dentro de los procesos de generación de energía eléctrica y el acoplamiento de sistemas de captura y secuestro de carbono en las plantas eléctricas a base de combustibles fósiles.

Aunque la transición del dominio de los combustibles fósiles hacia el aprovechamiento de los recursos renovables es deseada e inevitable, su proceso será un reto mucho más complicado que en transiciones pasadas. Primero, la escala de tiempo es limitada; como ya se ha mencionado una transición energética toma décadas su implementación, sin embargo, de no acelerar el proceso aumenta la incertidumbre de contar con la capacidad técnica y operativa para cubrir la demanda creciente. Por otro lado, el tamaño de la demanda actual difícilmente será cubierto únicamente con recursos renovables, complicándose principalmente para los países desarrollados siendo éstos los grandes consumidores. Un desafío aún mayor será el desplazamiento de los combustibles fósiles utilizados en la producción de hierro, cemento, amoníaco y plásticos (Smil, 2016).

Un reto relacionado con el despliegue de los recursos de energía renovable son sus magnitudes y su distribución desigual. Es decir, no en todas las partes del mundo se percibe la misma radiación solar ni es posible aprovechar la misma cantidad de energía eólica (Smil, 2010). Otro hecho que complica su desarrollo a gran escala es su intermitencia y comportamiento impredecible. Para este problema existen dos principales soluciones: el almacenamiento de energía por medio de baterías e interconexiones de larga distancia (Smil, 2016).

Adicionalmente, las densidades de las energías renovables son sustancialmente más bajas lo que complica su conversión a electricidad de gran escala, es decir, de desplegarse una cantidad considerable de energía renovable capaz de satisfacer una proporción significativa de la demanda internacional de combustible y electricidad, sus bajas densidades implicarían requisitos de espacio muy grandes (Smil, 2010).

Además de las fuentes de energía renovable, es posible considerar otras opciones con el fin de fomentar el despliegue del *“todo eléctrico”* sin que la confiabilidad del suministro se vea afectada. Una alternativa viable capaz de cubrir una parte representativa de la demanda eléctrica es la energía nuclear debido a la potencia que es capaz de producir. Sin embargo, tras los accidentes de Chernóbil en 1986 y de Fukushima en 2011, su empleo ha generado desconfianza y poca aceptación política y social; además de conservar deficiencias en la gestión de desperdicios nucleares.

Por parte de la demanda, las estrategias se refieren a los aspectos de comportamiento de la energía, la elección de la tecnología, las normas sociales, los estilos de vida y la comprensión de que el aumento de energía no necesariamente implica un mejor bienestar (Mulvaney, 2020). Las personas en general buscan electricidad, independientemente del tipo de fuente mientras que ésta sea confiable y consistente. De alguna manera, esto hace que la transición energética sea más fácil desde la perspectiva de la demanda porque no existen razones culturales por las que alguien quiera depender de un tipo de recurso específico (Mulvaney, 2020).

En cuanto a las industrias de alto consumo, se prevé que el desarrollo sea suficiente para llevar a cabo la electrificación de aquellas como la producción de cemento, acero, petroquímicos y otros productos. Se encuentran en proceso diferentes tecnologías para que el gran consumo de combustibles fósiles que tienen estas industrias, tanto de energéticos como de materia prima, puedan ser sustituidos por el uso de electricidad para la generación de calor, ya sea directamente mediante procesos electrotérmicos o indirectamente a través del hidrógeno como portador de energía (Lechtenböhmer et al., 2016).

También la electrificación de sectores como el transporte y los servicios de calefacción son considerados como clave dentro de las estrategias internacionales. El mercado de los vehículos eléctricos (VE) podría tener un rápido crecimiento en los próximos años, lo que resultaría en cambios significativos en la operación y patrones de consumo del sistema energético (Hammond y Pearson, 2013). Dicho en otras palabras, el uso de este tipo de tecnologías podría provocar elevados picos en la demanda energética, lo que, en lugar de favorecer al sistema, podría generar un impacto ambiental y económico negativo (Anderson y Torriti, 2018).

En cuanto a la demanda energética en el sector residencial no es suficiente considerar los aspectos tecnológicos o innovaciones con mayor eficiencia, además, deben tomarse en cuenta las variables sociales que están en función de los estilos de vida, rutinas diarias, preferencias individuales y relaciones sociales en el hogar (Hammond y Pearson, 2013). Es justamente dentro de estas variables donde se encuentra el área de oportunidad para llevar a cabo la transición energética, sin embargo, dentro de éstas mismas se halla la complejidad del sector, ya que se vuelve mucho más sencillo modernizar y reestructurar el sistema energético por parte de la demanda, que convencer de modificar determinadas costumbres a la población.

Es importante observar que la electrificación de sectores clave como los anteriormente mencionados podría terminar en puntos de demanda máxima que provocarían fallas y la desestabilización de la red. En consecuencia, resulta la necesidad de inversión en el reforzamiento de la red de distribución y transmisión, principalmente la red de distribución masiva (Hammond y Pearson, 2013). De igual manera, es indispensable trabajar en la gestión del pico de la demanda energética, siendo éste probablemente uno de los retos más importantes si lo que se busca es brindar flexibilidad a la red para el suministro de electricidad (Anderson y Torriti, 2018).

En resumen, la transición energética hacia el “todo eléctrico” requiere del esfuerzo integral por parte de la demanda como de la oferta. Además, su despliegue implica la remodelación profunda en las infraestructuras de transmisión y distribución, del mercado eléctrico y de los instrumentos políticos y financieros que promuevan e impulsen su desarrollo. La transición es un desafío que no debe subestimarse, se trata de un proceso con ritmo lento que bien podría acelerarse con el debido desarrollo tecnológico, participación internacional y conciencia ambiental.

### 1.3 ¿CUÁL ES EL ORIGEN DE LA TRANSICIÓN Y SUS IMPLICACIONES GEOPOLÍTICAS?

Esencialmente el origen de la transición energética es la búsqueda de un beneficio mayor en la calidad de vida de la sociedad o civilización. Sin embargo, la historia demuestra que los detonantes del cambio pueden surgir de diversos sectores, variar en función del contexto histórico e influir en magnitudes distintas de acuerdo con los intereses involucrados.

#### 1.3.1 Por escasez de recursos

Antes de la transición de la leña al carbón, el carbón vegetal (obtenido de la leña) era el combustible más utilizado por ser “limpio” ya que no generaba humo, sin embargo, su producción era tan ineficiente que eran necesarias aproximadamente 15 unidades de manera por una de carbón vegetal, lo que daba una pérdida energética de casi 60%. Esta escasa eficiencia y su uso tanto industrial como residencial, pronto se tradujo en una extensa deforestación, una escasez de recursos que no sólo frenó la viabilidad de los establecimientos de carbón, sino también la existencia de pueblos y ciudades cercanas que necesitan la materia prima para fabricar utensilios de la vida diaria.

La escasez de madera fue la clave para acelerar la expansión de la minería de carbón, posteriormente, fue impulsada por los precios de éste que comparados con la eficiencia que otorgaba, eran bajos. Sin embargo, se ha considerado que la escasez de madera hubiera podido abordarse de una mejor manera mediante prácticas forestales mejoradas y enfocadas a la forestación (Smil, 2010). Una excepción en el cambio de la leña al uso del carbón, es el caso de Alemania que durante el periodo de transición aún poseía grandes reservas de madera cotizadas a un buen precio. Sin embargo, se decidió migrar hacia recursos más eficientes, de lo contrario, el crecimiento económico asociado a la etapa de industrialización se habría visto duramente afectado.

Años más tarde y como resultado de la industrialización, los procesos de extracción y producción de hidrocarburos se perfeccionaron y se localizaron los grandes yacimientos petroleros de la época, eventos que enmarcaron la transición del carbón hacia la explotación del crudo y gas natural. Consecuencia de la urbanización, los pueblos y ciudades se vieron facilitadas en gran medida por las mejoras en los métodos de transporte (Rutter, 2012) y de suministro energético, lo que provocó la necesidad de estructurar la provisión de servicios energéticos. El crudo y gas natural se convirtieron en los combustibles más demandados en todo el mundo; aquellos países con reservas petroleras

intensificaron su producción y basaron su economía en ella, trayendo consigo un crecimiento económico y del uso de energía a nivel nacional e internacional (Smil, 2017).

La industria petrolera y energética creció de tal manera que no tardaron en presentarse consecuencias en materia política y económica a nivel mundial, sobre todo porque el control de los recursos quedó concentrado desproporcionadamente en manos de unos pocos. En 1973 y 1974 los países miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC, por sus siglas en inglés) principalmente Arabia Saudita, manifestaron su insatisfacción con las bajas regalías del petróleo, lo que ocasionó un aumento desmedido en los precios de este combustible. A partir de este momento, el petróleo y la energía se convierten en un instrumento políticamente estratégico.

En respuesta a este aumento, los principales importadores establecieron acuerdos de emergencia coordinados por la IEA y subsidiaron la exploración de reservas nacionales para promover la autosuficiencia (Smil, 2017). La situación puso en riesgo la seguridad energética de diversos países, que vieron la necesidad de diversificar su matriz energética, con el fin de reducir la dependencia a combustibles extranjeros. Ejemplo de ello, Francia, que a partir de la crisis decidió ampliar su programa nuclear y modernizar la red de transmisión. Actualmente, poco más de 70% del suministro eléctrico francés depende de la energía nuclear (IEA, 2017).

Los modelos de consumo energético se intensificaron y se vieron reflejados en la economía de los países. De hecho, el crecimiento económico permanece estrechamente relacionado con la disponibilidad, extracción, distribución y uso de la energía. La dependencia a los combustibles fósiles se hace mundial, destacando su participación en el sector transporte y para la generación eléctrica. Sin embargo, este crecimiento acelerado implica muchas mejoras y desarrollos junto con efectos preocupantes que pueden verse desde lo local a lo global (Fouquet, 2016).

### 1.3.2 Por sobrevivencia planetaria

Podría considerarse que la historia del cambio climático data desde las investigaciones realizadas por el físico irlandés John Tyndal en 1861, mediante las cuales demostró que las moléculas de gases como el metano, dióxido de carbono y el vapor de agua bloquean la radiación infrarroja, provocando cambios en el clima debido al efecto invernadero generado. Sin embargo, no fue hasta 1979 durante la Primera Conferencia Mundial sobre Clima que se consideró el cambio climático como una amenaza real para el planeta. Desde entonces a través de la Convención Marco de las Naciones

Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) se ha tratado de exhortar a los gobiernos de tomar medidas para prever y evitar los posibles cambios en el clima.

El consenso internacional definió que, para evitar las peores consecuencias del calentamiento global, la temperatura del planeta debe mantenerse a menos de 2°C respecto a los niveles preindustriales. Lograr el objetivo requiere la reducción sustancial de combustibles fósiles y una transición acelerada hacia fuentes de energía bajas en carbono. La participación debe ser global, sin embargo, se requiere una mayor participación por parte de los países desarrollados, ya que éstos han sido los principales beneficiados por el desarrollo industrial y, por ende, los responsables de la gran parte de emisiones en la atmósfera. Además, resulta justo y necesario dar oportunidad a los países menos desarrollados crecer económicamente, lo que se vuelve complicado sin el aumento del consumo de combustibles y electricidad.

Se ha planteado que la transición energética de los combustibles fósiles hacia un esquema bajo en carbono está relacionada con la inminente disminución de las reservas de dichos recursos, seguida de un descenso en la producción mundial de petróleo. Este debilitamiento de la industria petrolera se ha tratado de solventar a través del desarrollo tecnológico con el fin de producir en estructuras cada vez más complejas y mediante procesos de recuperación avanzada y mejorada buscando rehabilitar yacimientos en declive.

Aunque las reservas de hidrocarburos son finitas y el aprovechamiento de flujos de energía renovable será eventualmente inevitable, la preocupación por una transición hacia una matriz energética no fósil proviene de consideraciones financieras y estratégicas (Smil, 2010). Por un lado, los países importadores de petróleo gastan anualmente trillones de dólares para cubrir su demanda energética. Por otro lado, la mayoría de los recursos restantes de petróleo crudo se encuentran en el Medio Oriente y Venezuela, regiones sumamente inestables.

En resumen, entre el nocivo efecto contaminante de los combustibles de origen fósil para el medio ambiente, la escasez y encarecimiento de éstos, y su suministro expuesto a toda clase de incertidumbres políticas, ha terminado por imponerse por fuerza de las circunstancias la necesidad de ahorrar la energía, promover su uso racional y eficiente, así como, la intervención de energéticos alternativos, preferiblemente renovables y limpios (Acosta, 2011).

## RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

La transición energética se define como el proceso que envuelve los cambios técnicos, tecnológicos, económicos, financieros, políticos, sociales y ambientales necesarios para migrar de un sistema energético dependiente en un o una serie de recursos a uno diferente. Se trata de un proceso gradual, que comúnmente abarca extensos periodos de tiempo, e influenciado por los patrones de consumo de un país o región, es decir, por la cantidad de energía consumida por un país o región, el crecimiento de la población, el desarrollo económico, el cambio de una tecnología convencional por alguna moderna de mayor productividad o eficiencia.

Al tratarse de un proceso que abarca largos periodos de tiempo, existen distintos factores y actores que funcionarán tanto impulsores o herramientas para acelerar su despliegue como aquellos que opongan resistencia al cambio y su función sea frenar o limitar la transición. De manera cuantitativa más no limitativa se enlista, por un lado, el precio (de combustibles, tecnología, servicios, etc.), aunque sea de comportamiento volátil, es una de las variables determinantes para cualquier cambio en el sistema energético. También la innovación, una mayor eficiencia y brindar una mejora en la calidad de vida pueden ser características clave para la adopción de tecnologías o servicios nuevos, aunque éstos impliquen un mayor costo. Finalmente, la participación política y gubernamental es crucial para una transición energética; sus objetivos e ideologías suelen ser esenciales para la adopción y apoyo de determinadas tecnologías o cambios en el sistema energético. Además, su intervención disminuye la incertidumbre de invertir en proyectos energéticos que suelen involucrar riesgos y capitales altos.

Por otra parte, respecto a los elementos que ejercen resistencia a la transición, surge el concepto de "trayectorias dependientes", el cual se refiere a que una vez que un país o región ha comenzado por un camino, en este caso energético, los costos de reversión suelen ser muy altos, lo que genera inercia en las elecciones. Por su parte, las redes comerciales son lazos que suelen estar sujetos a complejos contratos y estrategias políticas, lo que produce tensión si estos se ven vulnerados o comprometidos. Por último, la aceptación social que tenga o no una tecnología podría ser crítico y definitivo para la implementación; es fundamental identificar las prioridades del consumidor, así como, sus problemas energéticos, hábitos, costumbres y preferencias culturales.

En resumen, cualquier transición energética es un complejo proceso que para lograr visualizar sus beneficios es necesaria la participación de todos los actores del sistema, así como, la implementación de los instrumentos y herramientas anteriormente descritas. La importancia e



influencia de éstos puede corroborarse a través del estudio de la historia y las transiciones que la humanidad ha experimentado.

Las primeras transiciones del hombre se llevaron a cabo bajo un enfoque tradicional, en el que un recurso es sustituido por otro, ya sea por escasez de éste o por obtener un mayor beneficio o eficiencia. Bajo esta perspectiva se migró desde la fuerza corporal del hombre hacia la domesticación de animales y aprovechamiento del fuego, posteriormente hacia herramientas que aprovechaban la energía cinética del agua y del viento; llegando finalmente, a los periodos de industrialización los cuales involucraron el aumento de quema de combustibles: carbón, aceite y gas natural, principalmente.

A pesar del gran desarrollo y crecimiento económico que las transiciones pasadas han significado para buen número de países, sus beneficios siguen siendo casi inexistentes en economías en vías de desarrollo. Dicha situación ha dado origen al concepto de transición multidimensional o multi-nivel, un enfoque moderno el cual amplía la transición energética a no solo una sustitución de tecnologías, sino cambios en los usuarios, la política, la ecología, la economía, la infraestructura, la cultura, entre otros rubros, que convergen con la definición de desarrollo sostenible.

Finalmente, bajo un enfoque prospectivo y de acuerdo con el consumo energético e innovación tecnológica actual, se describe la transición energética hacia el todo eléctrico. Se entiende como un proceso en el que la transformación debe darse tanto por parte de la oferta como de la demanda. Por el lado de la oferta, se busca el despliegue de las energías limpias y renovables que apoyen a mitigar y disminuir los problemas ambientales, así como, solventar las limitaciones que estas tecnologías conllevan. Por parte de la demanda, se busca electrificar sectores clave como el transporte e industrias de alto consumo, sin embargo, surgen nuevos retos como la gestión de la demanda, la modernización de redes de transmisión y distribución, entre otras acciones que brinden estabilización a la red y se disminuya la probabilidad de fallas. Respecto al sector residencial además de implementar medidas de eficiencia energética, es imprescindible fomentar el cambio de conductas y rutinas que promuevan la disminución de la demanda y la conciencia ambiental.

Después de haber definido la transición energética, descrito los elementos que la impulsan y la limitan, y estudiado las transiciones energéticas pasadas y actuales bajo distintos enfoques, es posible identificar el origen de este tipo de transformaciones al sistema energético. Aunque esencialmente una transición energética inicia como la búsqueda de un beneficio a la calidad de vida de la sociedad o civilización, es posible identificar dos circunstancias que han dado origen a la

actual transición: por la escasez de recursos y por sobrevivencia planetaria; ambas condiciones serán retomadas y ampliadas en los capítulos posteriores.

Con relación a lo anteriormente expuesto, es posible reconocer la importancia de llevar a cabo la transformación de un sistema energético a otro; queda claro que se trata de un cambio profundo y complejo, que no solo implica la sustitución de una tecnología o recurso, sino que trata de un proceso de participación conjunta entre tecnología, ciencia, economía, política, ecología, entre otras ramas involucradas. Alinear las acciones de todos los participantes al bien común es una tarea complicada y constante, ya que cada uno de ellos tratará de velar por sus propios intereses, y siendo un proceso de largo plazo, resulta difícil visualizar el beneficio en el tiempo inmediato.

Por otro lado, si bien el enfoque tradicional, moderno y prospectivo son conceptos diferentes, encuentro la actual transición como una combinación de dichas perspectivas. El mundo se encuentra en una transición de combustibles fósiles cada vez más escasos y complejos de extraer, y de consumo desmedido e injusto hacia un sistema energético diversificado, equitativo, comprometido con el medio ambiente, seguro y asequible.

Además de ser la transición un proceso gradual y paulatino, debe ser un proceso equilibrado y ordenado, caracterizado principalmente por el mejor aprovechamiento de los recursos ya disponibles, es decir, mediante técnicas de eficiencia energética; la modernización de infraestructura que permita el despliegue seguro y confiable de tecnologías, y una sinergia entre la demanda y la oferta, el gobierno y la sociedad, y lo público y lo privado.

## CAPÍTULO 2. ¿QUÉ IMPLICA LA TRANSICIÓN POR ESCASEZ DE PETRÓLEO? (1970-2020)

---

La Era del Petróleo comenzó casi 150 años atrás; se ha caracterizado por el intenso suministro de crudo barato que además de impulsar el crecimiento de la economía y de la población mundial, ha sido considerado como una variable efectiva y destacada en la estructura y funcionamiento de la comunidad global en el siglo XXI, por lo que ha jugado un rol crucial en la creación de relaciones, competencia, divergencia y convergencia entre actores internacionales (Behrouzifar et al., 2019).

No obstante, los combustibles fósiles están limitados tanto física como económicamente, siendo así recursos naturales finitos y no renovables, por el simple hecho de que toman millones de años para que éstos se acumulen mientras que su explotación se lleva a cabo en unos cuantos años, lo que hace imposible que la tasa de reemplazo se mantenga al día con la tasa de extracción (Höök y Tang, 2013). En resumen, es claro que, tras alcanzar el punto máximo de producción, ésta comenzará a declinar.

En este capítulo se mencionan las teorías respecto al agotamiento de los hidrocarburos, las consecuencias que resultan del declive de los recursos fósiles tanto en el suministro energético como en la economía y la política internacional, y las opciones energéticas desarrolladas e implementadas en la búsqueda de un reemplazo del petróleo.

### 2.1 ¿A QUÉ SE DEBE EL AGOTAMIENTO DEL PETRÓLEO?

De acuerdo con el *British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy 2020*, actualmente se consumen poco más de 98.3 millones de barriles diarios de petróleo alrededor del mundo, mientras que la demanda crece aproximadamente 1.5% anual. Este crecimiento permitió el continuo aumento del precio del crudo (Hamilton, 2011) lo que ha permitido poner en producción hasta los campos más pequeños, además, de lograr extender la vida de los campos ya existentes. Sin embargo, se estima que estas adiciones no serán suficientes para satisfacer la demanda futura (Campbell, 2015) ya que tomando como parámetro la producción del aceite convencional, se ha encontrado que la tasa de declinación suele ser del 6% anual (Höök y Tang, 2013), por lo que las reincorporaciones únicamente funcionan para compensar el declive de la producción, pero no como reserva para las necesidades de las futuras generaciones.

A pesar de los estudios y modelaciones realizadas, existen dos puntos de vista respecto al agotamiento de los recursos fósiles. Por una parte, la idea “pesimista” basada en las pruebas

geológicas, y por otra, los argumentos económicos sobre la sustitución eficiente de reservas (Brecha, 2008).

### 2.1.2 Teoría Geológica

El origen de esta teoría surge en 1956, cuando el geofísico y jefe de *Shell Oil*, M. King Hubbert pronosticó que la producción de petróleo mundial y de Estados Unidos alcanzaría su punto máximo en el año 2000 y 1970, respectivamente. Sus modelo y proyecciones, llamados Teoría del Pico del Petróleo, no fueron completamente acertadas debido a algunas limitaciones del modelo, como no haber contemplado la reincorporación de reservas ni la participación de recursos no convencionales, tales como el *shale oil*, los crudos pesados, los yacimientos ubicados en aguas profundas, entre otros (Figura 2.1). Además, en su momento la teoría se consideró incompatible, no porque estuviera del todo incorrecta, sino porque iba en contra del crecimiento económico y se consideraba que el agotamiento de recursos podría ser superado mediante el progreso tecnológico (Bardi, 2019).

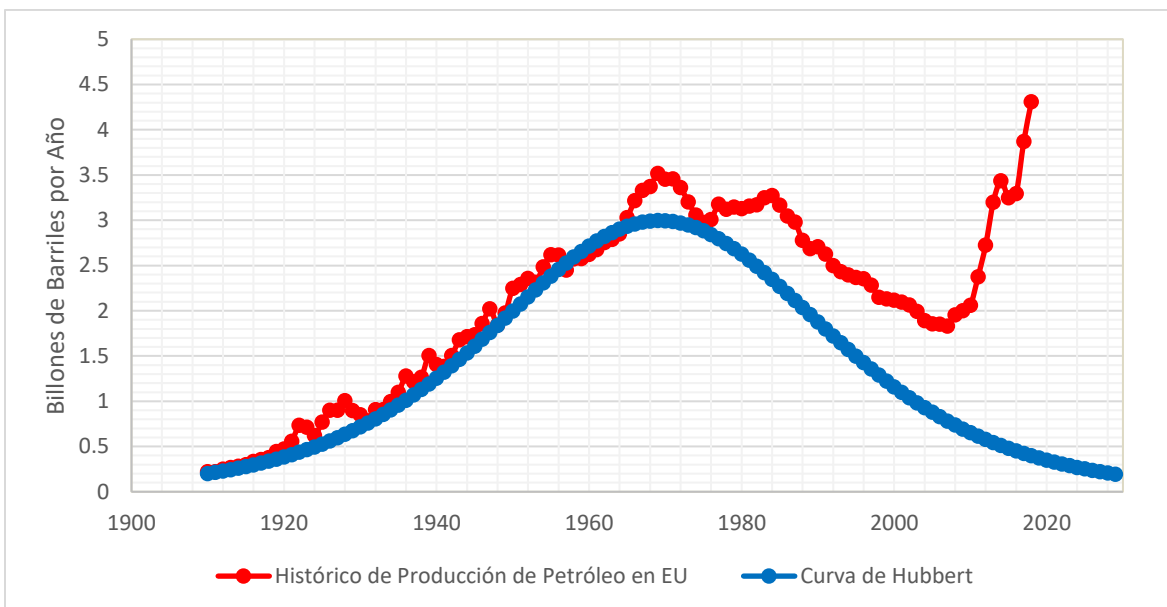


Figura 2.1. Comparación entre el histórico de producción de Estados Unidos y la Curva de Hubbert (1956). Fuente: Elaboración propia con datos de ourworldindata.org.

Sin embargo, gracias al modelo desarrollado fue posible determinar conclusiones que continúan vigentes. Por un lado, se dedujo que el perfil de los volúmenes anuales de producción de petróleo en cualquier provincia productora tiende a una curva de forma de campana y el máximo de

producción se alcanza cuando se ha extraído aproximadamente la mitad de los recursos disponibles (Tsoskounoglou, Ayerides y Tritopoulou, 2008).

Derivada de la Teoría de Hubbert se estableció que la producción de recursos convencionales está delimitada por tres características físicas:

1. Tener recursos fósiles finitos en el subsuelo significa que, una vez iniciada su explotación, inicialmente la producción incrementará, después se nivelará mientras las reservas de fácil acceso son explotadas, y cuando éstas sean cada vez más complejas la producción comenzará a disminuir hasta que el volumen recuperable sea consumido (Brecha, 2008).
2. La mayoría del crudo tiende a estar localizado en un pequeño número de grandes campos, que son compensados por la existencia de un gran número de pequeños campos.
3. Los grandes campos suelen ser descubiertos rápidamente porque ocupan grandes áreas. El resto de los descubrimientos requieren de mayores esfuerzos para ser localizados debido a su tamaño (Sorrell, Speirs, Bentley, Brandt y Miller, 2010).

Por lo que, a pesar de la producción adicional debida a la incorporación de múltiples campos pequeños, se estima que no serán suficientes para compensar el declive de la producción de los grandes campos. Dicho en otras palabras, aunque existen alrededor de 70,000 campos productores en todo el mundo, aproximadamente son 25 campos lo que suministran un cuarto de la producción, mientras que 100 campos proveen la mitad. Además, la mayoría de los campos “gigantes” son relativamente viejos, muchos ya han pasado su pico de producción y otros están por comenzar el declive (Sorrell et al., 2010).

Únicamente se esperaría contar con altos precios del crudo que permitan la inversión en la mejora del conocimiento geológico y de tecnología aplicada en nuevos descubrimientos y la implementación de recuperación secundaria y mejorada que postergue el agotamiento natural de los yacimientos.

Uno de los resultados obtenidos a partir de la Teoría de Hubbert es que la tasa de producción comienza a disminuir mucho antes de que las reservas comiencen a acercarse a su fin. De hecho, se ha observado que el pico de producción a menudo se presenta cuando las reservas están cerca de su punto más alto. Esta observación suele ser fuente de confusión en el público en general, ya que suele asociarse el aumento de reservas con una mayor capacidad de producción (Tsoskounoglou et al., 2008). Tal mal entendido da lugar a la siguiente teoría de sustitución eficiente de reservas.

### 2.1.2 Teoría Económica

Las ideas contrarias a la Teoría del Pico del Petróleo pertenecen principalmente a los economistas, quienes consideran las reservas como un concepto económico sin tomar en cuenta las características geológicas de los yacimientos (Verbruggen y Al Marchohi, 2010). Los argumentos económicos se basan en la sustitución eficiente de reservas; es decir, conforme se extraen las reservas fáciles los costos de producción aumentan, por lo que las fuerzas del mercado crearán las condiciones favorables para que se dé una transición hacia recursos no convencionales o alternativos (Brecha, 2008), o que cualquier otra limitante en el suministro futuro será rápidamente descartada gracias a las nuevas tecnologías.

A principio de los años 2000 se contabilizaba un crecimiento del PIB mundial del 4.7%, lo que implicaba un crecimiento en el consumo de crudo de 3% anual aproximadamente. Esta demanda fue clave para el continuo aumento del precio del crudo (Figura 2.2). Sin embargo, la producción dejó de crecer después del 2005. Dicha situación se atribuyó a la inestabilidad política en lugares como Iraq y Nigeria. Pero en mayor medida a que un gran número de yacimientos que en años pasados habían ayudado a mantener la producción, habían alcanzado cierto nivel de madurez y, por lo tanto, su tasa de agotamiento era cada vez mayor (Hamilton, 2011). Este ejemplo es parte del argumento que, no obstante, las circunstancias económicas hayan sido favorables, la producción sigue estando sujeta a variables físicas y geológicas difíciles de evitar o enfrentar.

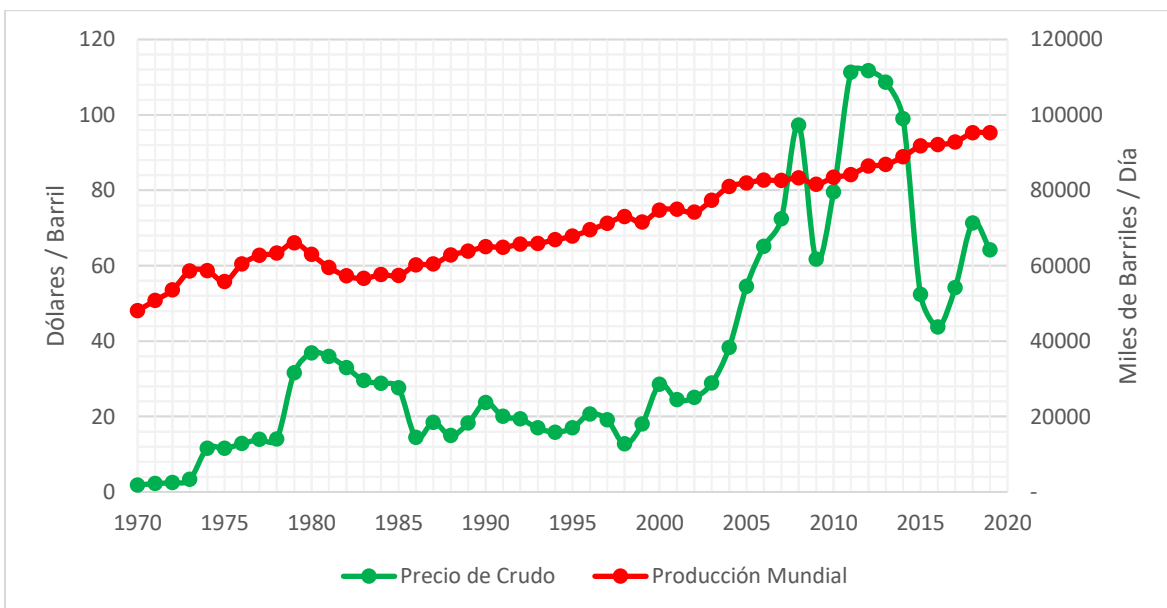


Figura 2.2. Comparativo de histórico del precio del crudo contra la producción mundial de petróleo. Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy 2020.

La incorporación de reservas pareciera ser tranquilizador, sin embargo, los datos históricos sugieren que más bien incrementan la imprevisibilidad y ocultan la verdadera perspectiva de la futura capacidad de producción. En primer lugar, las reservas, particularmente las probadas, son una forma de contabilizar los activos físicos de una empresa petrolera, por lo que no debieran ser tomadas como una herramienta de predicción (Jakobsson, Bentley, Söderbergh y Aleklett, 2012).

Además, las reservas de hidrocarburos debieran ser tratadas de manera similar a cualquier tipo de inventario; aunque el total de estos disponibles en el mundo se ajusta para fines prácticos, la fracción que se reporta como reserva es un valor dinámico (Jakobsson et al., 2012). Es decir, los insumos se agotan continuamente a través de la producción, pero de la misma manera van aumentando debido a actividades de exploración y desarrollo (Bentley y Bentley, 2015). Lo que resulta en una situación no de volúmenes ni de agotamiento, sino de flujos dinámicos sujetos a precios (Verbruggen y Al Marchohi, 2010), a la disponibilidad de inversión para el desarrollo de tecnología y acumulación de inventarios, y a los costos involucrados en la búsqueda de nuevas reservas (Bentley y Bentley, 2015).

Ejemplo de esto es el caso de Estados Unidos, cuando en 1970 tanto las reservas probadas como la producción llegaron a su nivel máximo. No obstante, durante los años siguientes la industria estadounidense comenzó a advertir el declive en la producción, concluyendo en una severa crisis petrolera a nivel internacional; evento que ningún analista habría podido predecir con tan solo evaluar la tendencia de las reservas (Figura 2.3) (Jakobsson et al., 2012).

En el caso global, el problema se encuentra en que la producción cada vez se desplaza más hacia campos nuevos, pequeños y profundos; recursos que sólo pueden ser producidos a ritmos relativamente lentos, de costos muy altos y con una tasa de declive mayor y acelerada. Por lo que, en algún punto la producción adicional por parte de los campos pequeños que son descubiertos no llegará a ser suficiente para compensar el declive de la producción de aquellos más grandes (Sorrel, 2010).

Lo que se trata de demostrar es que la producción no está en función de los descubrimientos, sino que el registro de éstos contiene información que queda oculta ante los reportes de reservas remanentes. El caso de Estados Unidos y la situación actual global demuestran la naturaleza dinámica de las estimaciones. Además, de comprobar que el crecimiento de las reservas no previene el declive de la producción (Jakobsson et al., 2012). Por el contrario, éste se encuentra sujeto a

condiciones más allá de las geológicas o económicas, tales como el desarrollo tecnológico, los cambios demográficos y la influencia política sobre el manejo de los recursos.

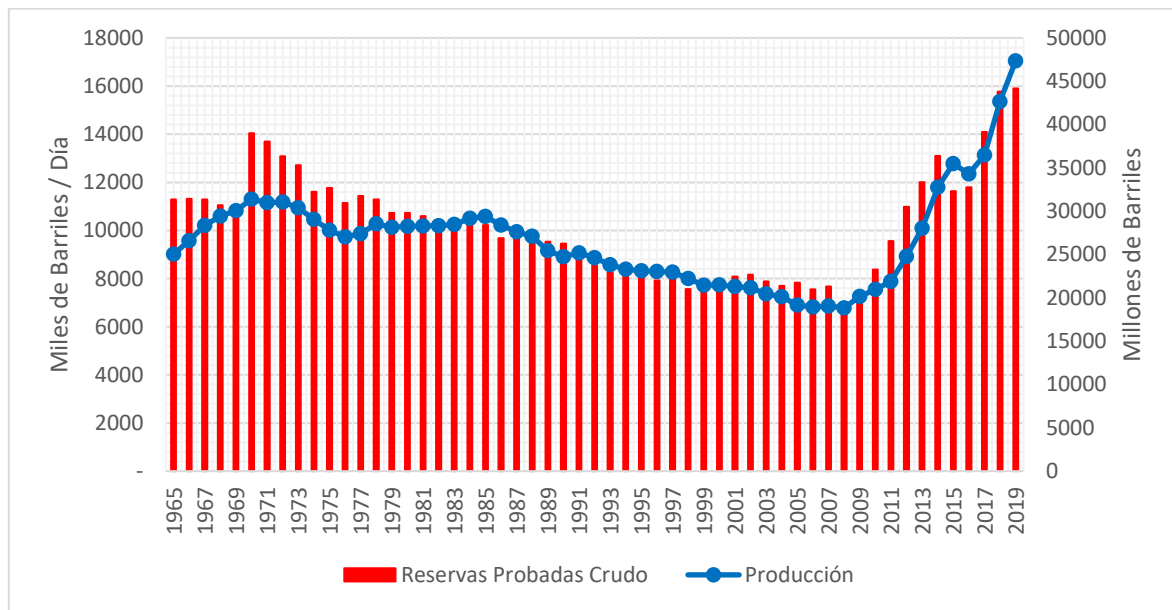


Figura 2.3. Comparativo de histórico de producción contra las reservas probadas de Estados Unidos. Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy 2020 y U.S. EIA.

## 2.2 ¿EN QUÉ CONSISTIÓ LA CRISIS PETROLERA DE 1973 Y CUÁLES FUERON SUS IMPLICACIONES?

### 2.2.1 Antecedentes

Durante la Guerra Fría, Estados Unidos incrementó su dominio alrededor del mundo con el despliegue de múltiples bases militares que, a su vez, fortalecieron su poder financiero y mercantil. Se trató de un periodo de crecimiento y desarrollo que permitió adquirir un mejor estándar de vida, impulsado principalmente por el consumo de energía barata basada en petróleo (Campbell, 2015). Sin embargo, y de acuerdo con los pronósticos de M. King Hubbert, Estados Unidos alcanzó su máxima producción de crudo en 1970. El declive, además de eliminar parte del suministro de petróleo del mercado internacional, provocó el aumento del nivel de importación de crudo por parte de E.U. con el fin de cubrir su creciente demanda (Sorkhabi, 2015).

Un año más tarde, otro hecho contribuyó a crear una situación aún más adversa. El presidente Richard Nixon suspendió la convertibilidad directa del dólar a oro como una medida para revertir el déficit en la cuenta corriente de la balanza de pagos norteamericana, debido a la abundancia de dólares que se habían inyectado a la economía mundial desde el final de la Segunda Guerra Mundial,



lo que provocó la sobrevaluación del dólar; favorecía las importaciones y limitaba las exportaciones (Aparicio, 2014). Como consecuencia directa, los países exportadores de petróleo vieron disminuir considerablemente sus ganancias. El petróleo se pagaba en dólares y el dólar, tras la suspensión del sistema *Bretton Woods*, sufrió una devaluación con respecto al resto de las monedas (Covi, 2015).

Bajo este contexto, mientras Estados Unidos se encontraba en un estado de vulnerabilidad, los miembros de la OPEC vieron una oportunidad para aumentar el precio publicado del crudo y así sentar las bases para un mercado de petróleo alcista. En consecuencia, se propusieron dos formas de influir en los precios del crudo en Medio Oriente: establecer una política a largo plazo que refería a un desarrollo de la oferta con incrementos pequeños pero constantes en los precios, o nacionalizar la industria adquiriendo el 51% de las concesiones otorgadas a las empresas extranjeras, y así tomar el control de la producción. Esta última medida fue la más tentadora, y fue adoptada por Argelia, Libia e Irak entre 1970 y 1972 (Covi, 2015).

En conclusión, el conjunto de empresas petroleras conocido como las Siete Hermanas (*Standard Oil of New Jersey (Esso), Royal Dutch Shell, Anglo-Iranian Oil Company, Standard Oil of New York, Standard Oil of California, Gulf Oil Corporation, y Texaco*), las cuales habían liderado el sector petrolero desde los años sesenta, dejaron de tener la propiedad directa de los pozos de petróleo, dejando a los países productores la libertad de decidir libremente las políticas del sector e incrementando su poder de negociación en el mercado internacional (Covi, 2015).

### 2.2.2 OPEC y el Embargo Petrolero

Durante la Guerra de Yom Kipur, un conflicto bélico entre Egipto y Siria contra Israel, el presidente de Egipto Anwar Sadat sugirió al Rey Faisal bin Abdulaziz de Arabia Saudita cortar las exportaciones de petróleo a aquellos países que estuvieran apoyando a Israel, entre ellos Estados Unidos, aprovechando la crítica situación en la que se encontraba. El gobierno árabe accedió, únicamente esperaban una razón suficiente para llevar a cabo el recorte (Sorkhabi, 2015).

Estados Unidos se la dio cuando en octubre de 1973 estalló el cuarto conflicto árabe-israelí, y el presidente Nixon trató de enviar a las fuerzas armadas con recursos y armamento a Israel para continuar la guerra. La misión fue descubierta y fracasó tajantemente. Los países de la OPEC reaccionaron inmediatamente, y seis de ellos (Arabia Saudita, Irán, Irak, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos y Qatar), tras haberse reunido el 16 de octubre, decidieron unilateralmente incrementar el

precio del petróleo poco más de 75%, pasando el crudo Arabian Light de \$2.90 a \$5.11 dólares por barril (Covi, 2015).

Al día siguiente, los ministros de petróleo árabes decidieron recortar las exportaciones de petróleo a aquellos países que brindaran apoyo a Israel, entre ellos Estados Unidos, Países Bajos, Portugal, Rodesia y Sudáfrica (Sorkhabi, 2015). Irak, por su parte, optó por una política más dura: nacionalizó el resto de las posesiones de Estados Unidos y Holanda, y se unió al embargo. Irán, a causa de la rivalidad con Arabia Saudita, aumentó su producción en lugar de disminuirla. Los recortes representaron un déficit del 7.5% en la producción mundial (Hamilton, 2011); que en conjunto con el embargo tuvieron efecto, tanto para los países importadores de petróleo, que intentaron tomar acciones unilaterales y cooperativas para acabar con esta situación, como para los países productores de petróleo, que vieron una escalada de precios a niveles no esperados (Covi, 2015).

El 22 de octubre, la ONU negoció un alto al fuego el cual tomó efecto el 25 del mismo mes. No obstante, como consecuencia de la guerra se desató un alza en los precios del crudo, tales que en diciembre alcanzaban un valor de \$11.65 dólares por barril. En marzo de 1974, los ministros árabes pusieron fin al embargo contra Estados Unidos y en junio de ese año se levantó contra el resto de los países afectados, restableciendo las exportaciones a los niveles de septiembre de 1973 (Sorkhabi, 2015).

### 2.2.3 Consecuencias de las Crisis Petrolera

La crisis energética de 1973-1974 se produjo después de dos décadas de petróleo estable y de bajo precio. No solo fue la primera de su tipo a nivel mundial, sino que estableció el escenario político-económico para las crisis y caídas del mercado del petróleo en décadas siguientes, en otras palabras, cambió el mundo de varias formas importantes (Sorkhabi, 2015).

#### *Nacionalizaciones y Concentración de Reservas*

A inicio de los años setenta, gran parte de los países del Medio Oriente siguieron una línea política con el fin de nacionalizar sus industrias petroleras. No obstante, uno de los grandes efectos de la crisis fue incrementar la confianza y poder de los gobiernos de la OPEC para tomar el control de sus recursos petroleros, ya sea mediante una nacionalización absoluta tal como lo implementó Irak y Venezuela, o mediante la participación o compra gradual como fue el caso de Arabia Saudita (Sorkhabi, 2015).

Previo a la crisis, el conjunto de las Siete Hermanas acaparaba más del 85% de todas las reservas de petróleo y gas, sin embargo, para finales de los años setenta y en consecuencia a la nacionalización de las industrias árabes, esa proporción había caído al 60%. Hoy en día, los países miembros de la OPEC controlan aproximadamente 70% de las reservas de crudo (principalmente Venezuela, Arabia Saudita, Irak e Irán), el 40% de las exportaciones y poco más del 35% de la producción total de petróleo (BP Statistical, 2020). El problema de contar con reservas con limitada distribución geográfica es que existe la posibilidad de que algunos países no se encuentren dispuestos a producir el petróleo que demandará el mercado y la inestabilidad política en algunos de ellos (Díaz, 2008).

En conclusión, a pesar de los esfuerzos en encontrar y desarrollar nuevos recursos alrededor del mundo, todo indica que la OPEC continuará teniendo un papel determinante en el suministro internacional y formación del precio del crudo (Acosta, 2011).

#### *Control sobre el Precio*

La formación de los precios del crudo se encuentra sujeta a las leyes de la oferta y la demanda. Por parte de la oferta, la OPEC interviene como un cártel dentro del mercado, es decir, opera como una asociación de suministradores la cual su función es mantener los precios altos y de esta manera impedir la competencia (Hamilton, 2009). Además, a algunos países miembros se asocian incertidumbres geopolíticas del Medio Oriente que causan especulación, aspecto que también interviene en la determinación del precio del crudo (Bentley y Bentley, 2015).

Por parte de la demanda, las variables que influyen son la elasticidad de los precios e ingresos, el incremento de la demanda de energéticos por parte de países de alto consumo como China y el surgimiento de nuevos grandes consumidores. Además, confluyen otros factores, entre ellos la cotización del dólar, la nacionalización de la industria petrolera en algunos países productores, la complejidad de los nuevos descubrimientos, entre otros (Bentley y Bentley, 2015).

#### *Seguridad Energética*

La concentración de recursos energéticos, especialmente el petróleo, en tan solo algunas partes del mundo convierte la seguridad energética un problema importante para la economía global (Behrouzifar et al., 2019) y, por ende, en una prioridad. Posterior a la crisis, y con el fin de prepararse para cualquier futura escasez de petróleo, muchos países occidentales lanzaron programas de emergencia de almacenamiento de petróleo (Sorkhabi, 2015). Además, en noviembre de 1974, se estableció una asociación gubernamental de países importadores de petróleo, la Agencia

Internacional de Energía. Su objetivo era asegurar el abastecimiento de petróleo, particularmente en situación de emergencia. Más tarde, se amplió su objeto a la coordinación de políticas energéticas de los estados miembros, con la finalidad de asegurar energía confiable, asequible y limpia (Acosta, 2011).

También en respuesta a este problema, se inició la búsqueda de yacimientos alternativos en Alaska, México, Rusia, Egipto, Brunéi y Australia (Bentley y Bentley, 2015); favorecidos por el aumento de los precios del crudo que dio a las empresas petroleras la capacidad financiera para explorar y producir en cuencas relativamente caras en todo el mundo (Sorkhabi, 2015). Algunos otros se enfocaron en el desarrollo de recursos alternativos (Fouquet, 2009), tema que se detallará en la siguiente sección.

## 2.3 ¿CUÁLES SON LAS ALTERNATIVAS PARA EL REEMPLAZO DEL PETRÓLEO?

La gran crisis petrolera de 1973 constituyó una llamada de alerta para los países de Occidente, ya que, entre las diversas consecuencias, se puso de manifiesto su gran vulnerabilidad y enorme dependencia a los recursos energéticos extranjeros. Fue entonces cuando se comprendió la importancia de diversificar las fuentes, tanto en materia de energía como de origen geográfico. De esta manera se da el origen y auge de energías alternativas, tales como los recursos fósiles no convencionales y las renovables (Acosta, 2011).

### 2.3.1 Recursos No Convencionales

Los recursos no convencionales son aquellos que no producen volúmenes de petróleo y gas económicamente rentables sin la asistencia de procesos de estimulación masiva o técnicas especiales de recuperación mejorada y avanzada (PetroWiki, 2016). Este tipo de recursos representan una gran variedad de formaciones geológicas, que incluyen gas y aceite de lutitas, aceites pesados en arenas, hidratos de metano, arenas gasíferas, entre otros (Zee y Holditch, 2015).

Los yacimientos de lutitas (de gas o aceite), se definen técnicamente como un sistema petrolero de rocas arcillosas orgánicamente ricas, pero de baja permeabilidad, que actúan a su vez como rocas generadoras, almacenadoras, trampa y sello, por lo que su producción en cantidades comerciales demanda técnicas de extracción más complejas y costosas (Barrueta, 2019).

Antes del siglo XXI, explotar este tipo de recursos se consideraba imposible, sin embargo, Estados Unidos logró la producción de shale gas, gracias a la implementación de pozos horizontales y del

fracturamiento hidráulico (*fracking*). La combinación de ambas técnicas de perforación y los altos precios del crudo permitió, por una parte, reducir los costos de producción del shale gas; y por otra, ocasionó un crecimiento exponencial en la producción de gas natural en Estados Unidos (Bilgili, Koçak, Bulut y Sualp, 2016), llegando a ser el productor número uno en el mundo de gas (Figura 2.4).

A pesar de su acelerado crecimiento, los recursos no convencionales mantienen características que limitan su intento por reemplazar al petróleo convencional. Una de ellas es que se encuentran distribuidos geográficamente en puntos muy limitados (Höök y Tang, 2013), por lo que no se logra diversificar el suministro y, por tanto, la seguridad energética se mantiene vulnerable. Además, a los yacimientos no convencionales se les atribuyen menores rendimientos, altos costos, la necesidad de grandes inversiones y, por lo general, una mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> (Bentley y Bentley, 2015),

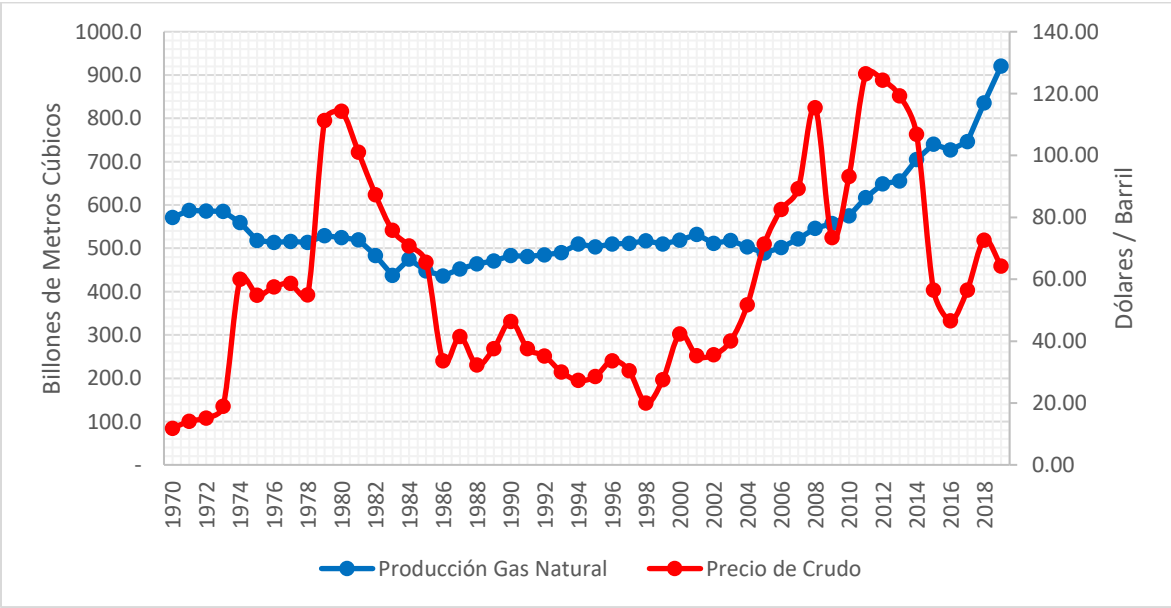


Figura 2.4. Comparativo de la producción de gas natural en Estados Unidos contra el histórico de precios del crudo.  
Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical 2020.

### 2.3.2 Gas Natural y Electrificación del Sistema Energético

Por años, el gas natural que se encontraba durante la producción de petróleo a menudo se quemaba por carecer de un mercado competitivo. Sin embargo, a causa del declive de la producción de crudo, de problemas relacionados con la seguridad energética y del desarrollo de tecnologías que

detonaron la producción de recursos, tales como el shale gas, el mundo comenzó a aprovechar cada vez más el gas y su mercado creció significativamente (Fouquet, 2009).

Por otro lado, durante las décadas de los setenta y ochenta, la generación de electricidad se basó en las centrales eléctricas de carbón; éste estuvo favorecido principalmente por las preocupaciones sobre el suministro mundial de petróleo y la escasez de gas natural, por lo que se llegó a considerar como una fuente de energía doméstica y confiable. Años más tarde, los avances tecnológicos en perforación horizontal y técnicas de fracking revirtieron las inquietudes sobre la insuficiencia de gas natural en los mercados internacionales. El aumento de la producción condujo a precios bajos persistentes de gas natural y a un auge en la construcción de nuevas plantas de gas de ciclo combinado de alta eficiencia (Haggerty, 2020) (Figura 2.5).

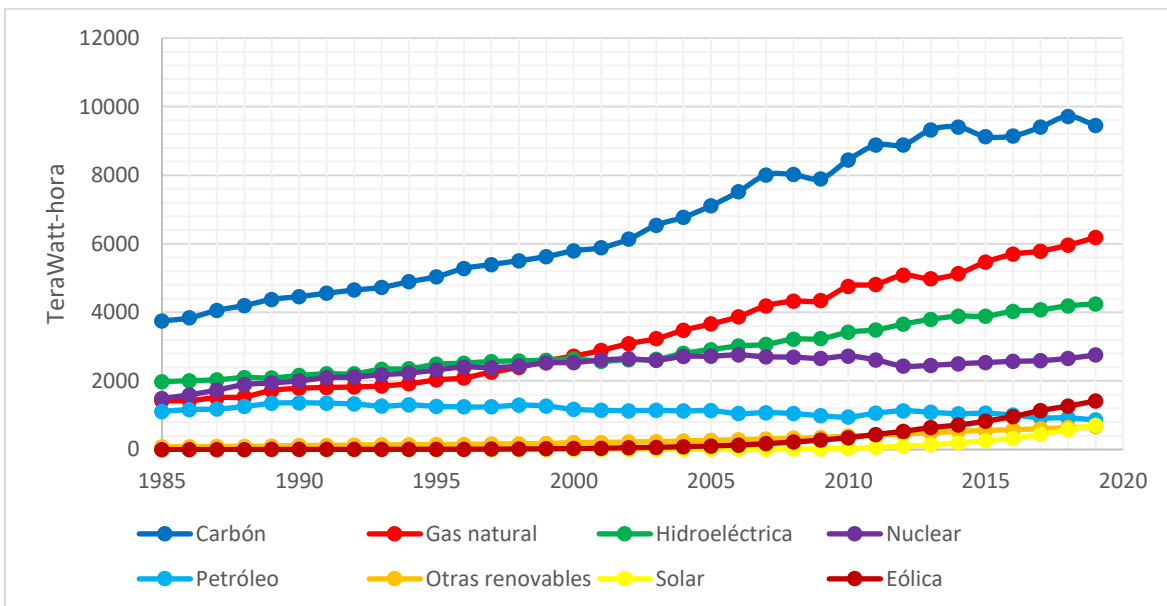


Figura 2.5. Generación de energía eléctrica por recurso. Fuente: Elaboración propia con datos de ourworldindata.org

En unos cuantos años, la electrificación de la economía global alteró radicalmente muchos aspectos de las actividades productivas, ya que es capaz de ampliar y sustituir la fuerza humana, además de proveer servicios de manera más sencilla, flexible y, “conveniente” para el medio ambiente. Es por estas características que se ha alentado en los últimos años la transición hacia sistemas energéticos diversificados y basados en la electrificación de la economía (Verbruggen y Al Marchohi, 2010).

### 2.3.3 Eficiencia Energética

Después de la experiencia y complicaciones ocasionadas por la crisis de los años setenta, no solo se identificó la necesidad de migrar a recursos energéticos alternativos, sino también de promover el

ahorro, el aprovechamiento, el uso eficiente y la conservación de la energía, que hasta entonces se había derrochado bajo la creencia de que se contaba con reservas ilimitadas. Este tipo de medidas además de tratar de contrarrestar el agotamiento de los recursos fósiles es una opción para mitigar el impacto ambiental de este tipo de combustibles, responsables del 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se encuentran en la atmósfera y, por consiguiente, el cambio climático (Acosta, 2011).

Alrededor del mundo se ha intentado incorporar en los planes de desarrollo agresivos programas para fomentar el uso racional de energía o la reducción de la demanda. En los programas se proponen diversas medidas o políticas, entre ellas:

- Rechazar progresivamente los costos de la energía como un cargo sobre el impuesto sobre la renta, que funciona como un subsidio oculto. De enfrentarse a estos costos, probablemente la industria reaccionaría prestando más atención a la eficiencia energética.
- Instalación de medidores inteligentes para concientizar a la población sobre su consumo de electricidad, e imponer nuevas tarifas en las que el costo incremente en función del consumo. Ejemplo de ello es Francia, en donde se han instalado medidores que indican los periodos de máxima demanda aumentando la tarifa en esos momentos de manera significativa.
- Promover la instalación de paneles fotovoltaicos en los hogares, lo cuales permiten que sean en gran medida autosuficientes, incluso capaces de vender excedentes a la red.
- Tomar medidas para reducir el crecimiento de la población, sería favorable para el sostenimiento de la demanda energética (Campbell, 2015).

Es importante mencionar, que para el despliegue o aplicación de este tipo de medidas también es indispensable asignar suficientes recursos para la investigación, la ciencia y la tecnología involucrada en el sector (Acosta, 2011). Por lo que a menudo este tipo de políticas son vistas como una limitación para el crecimiento económico, la generación de empleo y la obtención de beneficios. Es necesario incentivarlas de tal forma que además de lograr una mayor eficiencia energética, se generen oportunidades de negocio y resulten eficaces desde una perspectiva económica (Gallastegui Zulaica, 2011).

## RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2

El petróleo ha sido, y probablemente seguirá siendo, la base de la economía mundial, del suministro energético y de múltiples relaciones comerciales. Sin embargo, su agotamiento resulta inevitable ya que se trata de un recurso finito y no renovable, además, de estar sujeto a cubrir una demanda desmesurada y en constante crecimiento.

El argumento sobre el declive del petróleo surgió en 1956 con la Teoría del Pico del Petróleo; la cual fue desarrollada por el geofísico M. King Hubbert, quien aseguraba que la producción mundial y de Estados Unidos alcanzaría su punto máximo en el año 2000 y 1970, respectivamente. Su modelo ha sido desacreditado, principalmente, por no haber contemplado en el desarrollo la reincorporación de reservas, la participación de recursos no convencionales y el progreso tecnológico que podrían desviar el comportamiento de la producción.

Por el contrario, derivada de la Teoría de Hubbert, se lograron determinar principios que rigen la vida de los yacimientos de crudo convencional. Entre los más notables se encuentra que, una vez iniciada la explotación de un yacimiento, su producción incrementará, se nivelará mientras las reservas de fácil acceso se agotan, y cuando sea turno de recuperar aquellas de mayor complejidad, su producción comenzará a disminuir.

Además, se encontró poca correlación entre la tasa de producción y el nivel de reservas que cuenta una región. Es decir, la producción máxima de un campo o yacimiento a menudo se presenta cuando las reservas están cerca de su punto más alto. Esta confusión ha originado la teoría, principalmente entre economistas, que conforme se extraen las reservas fáciles, las fuerzas del mercado crean las condiciones favorables para impulsar la explotación de recursos complejos, no convencionales o alternativos.

Aunque pareciera un buen indicador la reincorporación de reservas, es necesario considerar que se trata de un valor dinámico en constante cambio; que también, por fines prácticos es ajustado y no permite ver información relevante de los campos. En otras palabras, la producción del crudo no está en función de los descubrimientos.

Ahora bien, en el supuesto que las fuerzas del mercado condujeran hacia circunstancias propicias para explotar otro tipo de recursos fósiles, la historia ha demostrado que, el suministro de petróleo está sujeto a variables más allá de las condiciones geológicas o económicas. Ejemplo de ello, fue la Crisis Petrolera de 1973, que además de demostrar la influencia política sobre el abastecimiento



energético, dejó entrever las consecuencias de no llegar a contar con los recursos suficientes para cubrir la demanda.

La Crisis de 1973 se originó debido a la protección que Estados Unidos ofreció a Israel durante la Guerra de Yom Kipur. Tras caer un grupo de las fuerzas armadas estadounidenses intentando proveer a Israel con recursos y armamentos, los países de la OPEC decidieron incrementar 75% el precio del petróleo; además, se determinó recortar las exportaciones de petróleo a todos aquellos países que brindaran apoyo a Israel. Los recortes cesaron relativamente pronto; en marzo de 1974 las exportaciones se restablecieron a los niveles previos a la crisis.

A pesar de ser un evento de poca duración, la crisis energética cambió el mundo de distintas maneras importantes. Por un lado, incrementó la confianza y el poder de los gobiernos de la OPEC para tomar control de sus recursos petroleros, principalmente, por medio de la nacionalización de sus industrias. Esto ocasionó una gran concentración de reservas en los estados del Medio Oriente, lo que deja el suministro de petróleo sujeto a la disposición de unos cuantos países y a la inestabilidad política en algunos de ellos.

Por otro lado, la OPEC reafirmó su influencia sobre los precios del crudo como un cártel dentro del mercado, además de crear especulación en el mercado debido a las incertidumbres geopolíticas asociadas a los gobiernos árabes.

Las consecuencias antes mencionadas se tradujeron en un problema de seguridad energética para la economía mundial. Por lo que alrededor del mundo se comenzaron esfuerzos para asegurar el abastecimiento de petróleo. Bajo este objetivo se creó la IEA, la cual actualmente tiene como propósito coordinar políticas energéticas de los estados miembros, con la finalidad de asegurar energía confiable, asequible y limpia.

Mientras algunos gobiernos trataron de fortalecer lazos políticos con países que tuvieran reservas, otros buscaron y encontraron petróleo, y muchos otros se enfocaron en el desarrollo de recursos alternativos que pudieran ser capaces de diversificar las fuentes de energía o ser un reemplazo del petróleo.

Dentro de la búsqueda de energías alternativas, los recursos no convencionales han sido uno de los adelantos más destacables, principalmente, el gas de lutitas o shale gas. Estados Unidos logró la producción de este tipo de reservas gracias a la implementación de pozos horizontales y de

fracturamiento hidráulico. La combinación de ambas técnicas desató el auge del shale gas, e hizo pasar a E.U. de ser un país importador a uno de los más grandes exportadores de gas natural.

Este realce del gas natural en conjunto con el despliegue de centrales de ciclo combinado en varias partes del mundo ha permitido que en unos cuantos años, se haya incrementado la electrificación del sistema energético considerablemente, lo que ha proporcionado servicios de manera más sencilla y flexible. Sin embargo, es importante no olvidar que, aunque se haya identificado una gran disponibilidad de volúmenes de shale gas y sus costos de producción sean cada vez más bajos, continúan siendo recursos fósiles finitos y no renovables; así que conforme la producción de aceite disminuya, el aprovechamiento del gas será mayor y también estará sujeto a un determinado número de reservas, mismas que continúan estando concentradas en lugares limitados. Lo que deja ver que el aprovechamiento de los recursos no convencionales tan solo es una medida provisional para el declive del petróleo, no resuelve los problemas asociados con la seguridad energética, y que su adopción desalienta y retrasa la transición hacia recursos bajos en carbono y, por ende, no se mitiga el daño por el calentamiento global.

Hace falta de manera casi urgente, romper la correlación que existe entre el crecimiento económico y la demanda de energía que ha caracterizado los últimos años. Para lo cual se ha buscado incorporar en los planes de desarrollo planes que fomenten el uso racional y eficiente de energía. Este tipo de medidas sirven para disminuir la demanda de combustibles fósiles, con lo que se promueve la independencia energética, se logra contrarrestar el agotamiento del petróleo y mitigar el impacto ambiental de este.

A manera de recomendación, considero que el agotamiento de los recursos fósiles podría atenuarse bajo la combinación de las distintas medidas y tecnologías antes descritas, por ejemplo, aplicar de manera masiva y casi obligatoria medidas de eficiencia energética en toda la cadena de valor de los energéticos, una matriz energética diversificada en la que participen energías renovables, nuclear, combustibles fósiles con sistemas de captura y secuestro de carbono, un alto grado de electrificación en toda la economía, y la concientización de la población respecto a su consumo.

### CAPÍTULO 3. ¿QUÉ IMPLICA LA TRANSICIÓN POR SOBREVIVENCIA PLANETARIA? (1990-2050)

---

Tras el desarrollo tecnológico y económico debido a la Revolución Industrial, el uso masivo de combustibles fósiles se extendió alrededor del mundo, los métodos de extracción se perfeccionaron, sus aplicaciones se diversificaron en prácticamente todos los sectores económicos, en gran parte del mundo pasaron a ser la base de la matriz energética y, por ende, de la economía internacional. Sin embargo, el empleo excesivo de los combustibles fósiles ha desarrollado distintos inconvenientes, entre ellos, y probablemente el de mayor magnitud, el cambio climático.

El cambio climático es originado por el efecto invernadero, que, aunque es un proceso natural necesario para la vida en la Tierra, los seres humanos han intervenido en este proceso. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el efecto invernadero ahora está atrapando calor adicional en la atmósfera terrestre, siendo las actividades humanas las que han provocado un aumento significativo en la cantidad de CO<sub>2</sub> y metano (CH<sub>4</sub>). Estos gases de efecto invernadero (GEI) absorben más energía y dejan escapar menos calor al espacio, por lo tanto, el clima de la Tierra se está calentando.

Actualmente, las consecuencias debidas a este calentamiento global comienzan a ser evidentes en diversas partes del mundo. Expertos del IPCC han encontrado que la temperatura de la Tierra ha aumentado un promedio de 0.18 °C por década desde 1980. Además, los glaciares se están reduciendo rápidamente, y a su vez, aumentan los niveles del mar. Mientras se intensifica la presencia de fenómenos meteorológicos extremos, como ciclones tropicales, tormentas, inundaciones, olas de calor y sequías alrededor del mundo, las pérdidas económicas por estos y otros fenómenos aumentan drásticamente.

Bajo este contexto, resulta indispensable analizar a detalle las causas y consecuencias de la problemática ambiental actual, cuáles han sido hasta ahora las soluciones implementadas, y así, definir nuestra posición actual, para con base en ello, determinar deficiencias en las medidas tomadas, y así mismo, recomendar acciones para solventarlas.

El contenido de este capítulo se compone por una primera sección donde se describen los primeros estudios o documentos que advirtieron sobre la crisis ambiental, el cambio climático y la influencia del uso de la energía sobre estos; la segunda sección trata los daños que causa al medio ambiente y a la salud humana el uso de cualquier tipo de energía; en la tercera sección se explican las estrategias y acciones implementadas hasta ahora con el fin de mitigar el cambio climático en el

mundo, y finalmente, se presentan los actores que aún se resisten a la transición energética y cuáles han sido las acciones tomadas por estos.

### 3.1 ¿CUÁLES FUERON LOS PRIMEROS LLAMADOS DE ALERTA?

#### 3.1.1 Los Límites del Crecimiento: Informe Meadows (1972)

En 1972 se publicó el informe *Los Límites del Crecimiento*, elaborado por un grupo de investigadores del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT, por sus siglas en inglés), liderado por el profesor Dennis Meadows. En el Informe se estudiaban las causas y consecuencias a largo plazo del crecimiento de cinco variables fundamentales: población, industrialización, producción de alimentos, consumo de recursos y contaminación. En esencia, el Informe destacaba la incapacidad física de un crecimiento material infinito en un planeta con recursos finitos (Rodríguez Rodríguez, 2011).

El Informe Meadows basó su modelo prospectivo en la teoría dinámica de sistemas y la modelación informática. Los autores negaron que su objetivo fuera realizar predicciones. Por el contrario, destacaron que lo importante no era predecir el momento exacto en que se producirían los fenómenos sino mostrar la tendencia de éstos.

El modelo inicial fue elaborado en 1971 por Jay Forrester, experto en dinámica de sistemas del MIT, en el cual analizaba el comportamiento del sistema social en su interacción con el sistema natural. Este modelo, denominado World2, relacionaba las cinco variables antes mencionadas tomando como referencia la tendencia global en los modos de producción y consumo durante el siglo XX. Lo interesante e innovador del estudio era que el modelo no solo analizaba el comportamiento independiente de las variables, sino que también consideraba las interrelaciones entre ellas (Rodríguez Rodríguez, 2011).

Para la realización del Informe se utilizó, en esencia, un modelo similar al World2. La variante, por parte del equipo del profesor Meadows, fue la incorporación de una red de conexiones entre las variables, ampliando así su estructura y base de datos. Bajo el nuevo modelo, nombrado World3, se elaboraron 12 proyecciones de la evolución mundial, y en cada una de estas observaron que los límites físicos del planeta imponen el fin del crecimiento físico en algún punto del siglo XXI (Meadows, Meadows, Randers y Behrens, 1972).

En su momento, los autores aclararon que, a pesar de escenarios tan fatídicos, se trataba de un modelo sin esfera social, es decir, no considera conflictos, corrupción, desastres naturales, pandemias, cuenta con una amplia visión, se encuentra abierto a nuevas ideas, los mercados y estados deciden sin costes ni demoras el avance (Iranzo, 2004); de haber incluido factores de este tipo se pondría fin al crecimiento mucho antes de lo que indica el modelo.

A partir de las proyecciones, además del declive de la población y la economía, era posible concluir que cambios de esta magnitud vendrían acompañados sin duda de problemas de salud, conflictos, devastación ecológica y desigualdades todavía más acentuadas. Sin embargo, este era sólo un escenario. En otras proyecciones el crecimiento ocurría paulatina y ordenadamente, mediante la adaptación de la huella ecológica de la humanidad a la capacidad de carga del planeta. Para tal resultado, sería necesario una innovación social profunda a través del cambio tecnológico, cultural e institucional, control sobre la tasa de natalidad, reducción en el consumo de recursos y, por lo tanto, en la producción de contaminación (Rodríguez Rodríguez, 2011).

Bajo los distintos escenarios planteados en el Informe, se concluía que, de mantenerse las tendencias de crecimiento, el planeta alcanzaría los límites de su crecimiento en el curso de los próximos 100 años. No obstante, se destacaba que las tendencias no eran (ni son) irrefutables, por el contrario, se trata de recurrir a la capacidad humana para cambiarlas.

En general, el Informe recibió numerosas críticas a favor y en contra, las cuales pueden resumirse en tres argumentos principales. En primer lugar, la falta de consideración de los mecanismos del mercado para regular los problemas de escasez a través del alza de los precios. Aunque, en el caso de los energéticos, eso no es lo que ha sucedido (Figura 3.1).

En segundo lugar, se criticó haber subestimado la capacidad de la tecnología y su progreso para sustituir unos materiales por otros. Los investigadores del Informe modificaron una serie de condiciones para analizar el supuesto caso de que la tecnología fuera capaz de luchar contra los límites de la población y el crecimiento económico. Sin embargo, los resultados arrojaron un comportamiento caracterizado por la extralimitación y el fin del crecimiento antes del año 2100. Por lo que, a pesar de los avances que la ciencia pudiera brindar, la incertidumbre no desaparece completamente (Rodríguez Rodríguez, 2011).

Finalmente, muchos calificaron los escenarios como irracionales porque no incorporaban ningún cambio en la producción y el consumo en presencia de la catástrofe. Sin embargo, es igualmente imposible suponer un crecimiento material indefinido sin cambiar casi nada (Iranzo, 2004).

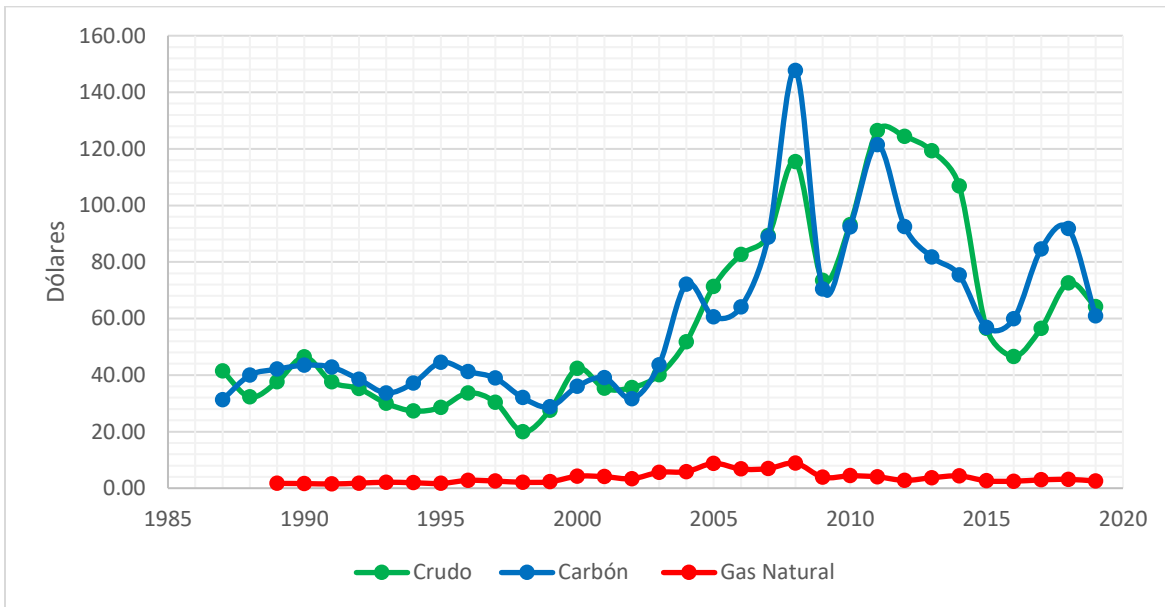


Figura 3.1. Histórico de precios de crudo (\$/barril), carbón (\$/tonelada) y gas natural (\$/MMBTU). Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical 2020

Dos décadas después, en vísperas de la Cumbre Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro, el profesor Meadows presentó una actualización del Informe, esta vez titulado *Más allá de los límites*. El estudio confirmaba que la humanidad había sobrepasado sus límites, el colapso seguía siendo el caso más probable, aunque aún evitable con los medios disponibles (Iranzo, 2004). El mensaje fue claro: “La Humanidad ha sobrepasado sus límites. La forma actual de hacer las cosas es insostenible. Un futuro digno de ser vivido debe convertirse en una época de retirada, en la que se desande lo andado en ciertas direcciones y se reparen los daños” (Meadows, Meadows y Randers, 1992).

### 3.1.2 Cumbre de la Tierra - Estocolmo (1972)

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano también conocida como la Primera Cumbre para la Tierra, celebrada en Estocolmo (Suecia) del 5 al 16 de junio de 1972, constituyó la primer gran Cumbre dedicada a evaluar la influencia de las actividades humanas sobre los problemas ambientales tanto de naciones industrializadas como de los países en vías de desarrollo. Además, para muchos representó las bases del derecho internacional ambiental

(Cabrera Medaglia, 2003), al definir un punto de partida de la institucionalidad y legalidad ambiental, así como, la incorporación del tema en la estructura de las estrategias de desarrollo de los países.

De esta Conferencia surgieron ciertas prioridades que requerían acciones urgentes y gran escala, como la previsión de agua, la contaminación de los océanos y los mares, entre otras. Sin embargo, la prioridad de los países en desarrollo se centró en el desarrollo responsable o ecodesarrollo, el cual considera estrategias para el uso de recursos humanos y naturales de manera eficiente, así como la mejora de la calidad de vida de los pueblos (UPEACE, 2002)

De la Cumbre resultaron diversas resoluciones, entre las que se destacan:

- **Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Entorno Humano;** en la cual, además de considerarse como la base del derecho internacional ambiental, se enunciaron un conjunto de principios y mandatos de efecto concientizador para la conservación y mejora del medio humano. Estos principios conducían a la protección de los recursos naturales, la asistencia financiera, la transferencia de tecnología, la planificación, el sistema de intercambio, la puesta en el centro del sistema al ser humano, a la educación, la investigación y el desarrollo, a la cooperación internacional, así como otros tópicos de relevancia (Cabrera Medaglia, 2003). Además, en uno de los apartados, la Declaración planteó la cuestión del cambio climático por primera vez, advirtiendo a los gobiernos que debían tomar en consideración las actividades que pudieran provocarlo y evaluar la probabilidad y magnitud de las repercusiones sobre el clima (UN, 2007).
- **Plan de Acción para el Entorno Humano;** el cual contempló 109 recomendaciones en tres categorías relativas a aspectos informativos, educativos, sociales y culturales sobre asuntos ambientales. La primera contemplaba mecanismos de evaluación y revisión, investigación, monitoreo e intercambio de información; la segunda buscaba establecer objetivos y planificación, así como cooperación internacional y acuerdos; y la tercera categoría se refería a medidas de apoyo tales como educación, información pública, cooperación técnica y financiamiento (Cabrera Medaglia, 2003). Así mismo, el Plan estableció un marco de trabajo para la acción ambiental, denominado *EarthWatch*, y recomendaciones para ejecutar a nivel internacional (UPEACE, 2002).
- **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP);** bajo los principios de la Declaración se crea el UNEP, el cual tiene como objetivo liderar y promover los esfuerzos

conjuntos para el cuidado del medio ambiente, alentando, informando y capacitando a los países para que mejoren su vida sin comprometer la de futuras generaciones (Hollman, 2017). Las actividades del UNEP cubren un amplio rango de temas, desde la atmósfera y los ecosistemas terrestres, la promoción de ciencias medio ambientales, la difusión de información relacionada, hasta la emisión de tratados, convenios y protocolos de cumplimiento obligatorio para los países signatarios (Leal, 2008). Además, tras la creación del Programa y bajo sus lineamientos, diversos países en todo el mundo establecieron agencias nacionales para la protección ambiental (UPEACE, 2002).

Durante la Cumbre también se propuso el establecimiento de estaciones para el seguimiento de la evolución a largo plazo de componentes y propiedades de la atmósfera, susceptibles de provocar un impacto meteorológico, como el cambio climático. Dichos programas quedaron coordinados por la Organización Meteorológica Mundial con el objetivo de ayudar a la comunidad mundial a comprender mejor la atmósfera y las causas de los cambios climáticos (UN, 2007). Adicionalmente, se decretaron Disposiciones Institucionales y Financieras, con la finalidad de promover la cooperación internacional en el campo ambiental (UPEACE, 2002).

En resumen, la Conferencia de Estocolmo fue el primer intento de forjar un panorama en común sobre cómo manejar el reto de preservar y mejorar el ambiente humano, alentar y proporcionar directrices para protegerlo, remediar y prevenir su deterioro (Handl, 2012). Finalmente, la Conferencia hizo un llamado en favor de que se convocara una segunda reunión sobre el medio ambiente, la cual se llevó a cabo en Río de Janeiro en 1992, con el fin de dar control y seguimiento a las medidas y recomendaciones planteadas.

### **3.1.3 Our Common Future: Informe Brundtland (1987)**

En 1983, durante la 38va sesión de las Naciones Unidas se creó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, quedando al frente de esta, la entonces Primer Ministro de Noruega, Gro Harlem Brundtland. Su misión era formular una agenda global para el cambio en la cual proponer estrategias ambientales de largo plazo con el fin de alcanzar el desarrollo sustentable (McChesney, 1991).

La estrategia adoptada por la Comisión fue innovadora, ya que se centró en determinar las causas de los problemas ambientales; además, llevaron el debate más allá de las instituciones científicas y agencias gubernamentales, para incluir la opinión de diferentes grupos sobre cuestiones como



agricultura, forestación, agua, energía, tecnología y desarrollo en general (Hollman, 2017). Inclusive, se realizaron diversas visitas a zonas afectadas por catástrofes ambientales con el fin de conocer las preocupaciones y testimonios de la gente (McChesney, 1991). En abril de 1987, se emitió el reporte final titulado *Our Common Future*. En general, se enfocó en dar a conocer la urgente necesidad de actuar para mitigar la degradación del medio ambiente y el incremento de la pobreza.

El reporte consta de tres partes: en la primera, se expresan las preocupaciones comunes, como la pobreza, la crisis económica y el desarrollo sostenible; la segunda parte determina las tareas comunes para mitigar las inquietudes antes mencionadas, las cuales incluyen el control demográfico, uso eficiente de recursos alimenticios y de la energía, crecimiento de la urbanización, entre otras; y finalmente, se mencionan los esfuerzos comunes, los cuales radican en el desarrollo de leyes internacionales para la protección de los ecosistemas y la atenuación de guerras por el impacto que tienen sobre el medio ambiente (Hollman, 2017).

Entre las muchas cosas que destacan del informe, se definieron las *nuevas realidades*, las cuales son catástrofes ambientales que amenazan el ecosistema global, como son la desertificación, cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, contaminación industrial, erosión de la tierra, entre otras. Además, en el análisis se recalca la creciente inequidad entre los países desarrollados y aquellos que se encuentran en vías de desarrollo (McChesney, 1991) y se identifica por primera vez la importancia de evaluar cualquier acción o iniciativa desde tres enfoques: el económico, el ambiental y el social (Calvente, 2007).

El mensaje principal del Informe Brundtland es hacer un llamado urgente a las naciones para persuadirlas de la necesidad de actuar de forma multilateral, es decir, reconocer que las necesidades del mundo se satisfacen gracias al ecosistema, por lo que los problemas ambientales requieren del acercamiento internacional para lograr el bien común. También, se convoca a una nueva era de crecimiento, particularmente caracterizada por el apoyo hacia los países en desarrollo, basado en políticas que protejan el medio ambiente y aseguren una mayor distribución de recursos (McChesney, 1991).

Estas acciones se integraron bajo el concepto de desarrollo sustentable, el cual la Comisión define como “el desarrollo que procura las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para cubrir las propias” (WCED, 1987). Adicionalmente, la Comisión establece que la búsqueda del desarrollo sustentable requiere de la participación integral del sistema económico, social, productivo, tecnológico, administrativo e internacional.

Una de las mayores fortalezas del reporte es su excelente representación de la realidad internacional con respecto al medio ambiente y a las tendencias de desarrollo, enfocándose en el futuro suministro energético, las prácticas agrícolas y forestales, el control de la población y evidenciar la relación entre la protección ambiental y la carrera armamentista. Asimismo, es considerado el primer informe internacional que busca lidiar el rescate de los sistemas biológicos considerando al desarrollo económico como parte fundamental de la estrategia, lo que le permitió una amplia aceptación comparada con la obtenida en advertencias previas y logró colocar en un lugar destacado el concepto de “desarrollo sustentable” dentro de la agenda de las Naciones Unidas y los bancos multilaterales de desarrollo (McChesney, 1991).

No obstante, el reporte recibió algunas opiniones negativas, las cuales se centraron en argumentar que los Comisionados participantes en su elaboración y la ambigüedad en su definición de “desarrollo sustentable” daban suficiente libertad para interpretar el concepto y los principios del informe a favor de sus propios intereses, por lo que se dedujo que el objeto del reporte era político más que uno científico. También, se criticó la “nueva era de crecimiento” ya que distraía la atención y el esfuerzo hacia el desarrollo económico mientras los demás aspectos que involucra el desarrollo sustentable se relegaban (McChesney, 1991).

En resumen, la Comisión destacó a través del informe los problemas ambientales de ese momento; en la mitigación de estos incluyó la participación fundamental de la economía y las organizaciones, lo que implicó un cambio para la idea de sostenibilidad, es decir, buscó promover el crecimiento menos materialista, menos intensivo en el uso de energía, más equitativo, y capaz de satisfacer las necesidades esenciales del mundo entero (Hollman, 2017).

#### **3.1.4 Cumbre de la Tierra - Río de Janeiro (1992)**

Del 3 al 14 de junio de 1992, en Río de Janeiro (Brasil), se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Tomando en cuenta los antecedentes establecidos en la Declaración de Estocolmo en 1972 y en el Informe Brundtland respecto al término de “desarrollo sostenible”, la reunión implicó un hito en el derecho y la política internacional, al producir acuerdos que tratan integralmente los temas ambientales globales al incorporar el desarrollo sostenible como meta principal (Carmona Lara, 2012).

La Cumbre fue una reunión política con fuerte contenido económico, donde se discutieron, no solamente las formas y métodos para preservar el medio ambiente, sino los criterios para asegurar

la participación de todos los pueblos en los beneficios que racionalmente pueden obtenerse de los recursos naturales (Cabrera Medaglia, 2003). El principal resultado fue la creación de cinco acuerdos cuyo objetivo es alcanzar la plena incorporación de la dimensión ambiental al desarrollo (Carmona Lara, 2012), a través de metas basadas en la sostenibilidad.

Los cinco acuerdos son:

- Declaración de Río sobre Medio Ambiente y el Desarrollo
- Agenda 21
- Declaración sobre Principios Relativos a los Bosques
- Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
- Convenio sobre Diversidad Biológica

La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo buscó reafirmar y desarrollar lo establecido anteriormente en la Cumbre de Estocolmo en 1972, y estableció como principal objetivo alcanzar el desarrollo sostenible, reconociendo el derecho de los Estados a explotar los recursos naturales, solo que esta vez se agrega el calificativo de conformidad “con las políticas ambientales y de desarrollo” (Cabrera Medaglia, 2003).

La Declaración contempla acciones que se deberían adoptar en el ámbito social, económico, cultural, científico, institucional, legal y político. Asimismo, señala la necesidad de erradicar la pobreza, de modificar los patrones de consumo y producción que resultan ambientalmente insostenibles y de formular instrumentos legales tanto a nivel nacional como internacional que regulen de manera adecuada la protección del medio ambiente (UN, 1992).

Tras reconocerse los impactos que tiene el desarrollo económico sobre el medio ambiente, la Declaración señala la necesidad de un sistema económico internacional que permita el crecimiento económico y desarrollo sostenible de todos los países. En este mismo sentido, se exhorta a los países a internalizar los costos ambientales y crear instrumentos económicos partiendo del principio de “el que contamina paga”.

De igual manera, la Declaración establece como medidas de precaución para la protección ambiental la aplicación del principio de precaución, el cual establece que, en caso de haber peligro de daño grave o irreversible, la falta de pruebas científicas no debe ser razón para postergar la adopción de medidas eficaces; y la evaluación de impacto ambiental cuando exista riesgo de daños considerables al medio ambiente debido a cualquier actividad propuesta (UN, 1992).

Por otro lado, la comunidad internacional adoptó la Agenda 21 (o Programa 21), un plan de acción global a favor del desarrollo sostenible. Dicho programa representó un llamado a las naciones a desarrollar planes claros con el fin de alcanzar metas que abarcaban dimensiones sociales y económicas, la conservación y gestión de los recursos para el desarrollo y el fortalecimiento de la participación de los grupos principales (mujeres, jóvenes y comunidades indígenas) (Hollman, 2017).

La Agenda 21 se constituyó en 40 capítulos, cerca de 100 programas o áreas diferente y 3000 recomendaciones, las cuales abordan sectores clave como la agricultura, la industria y gestión urbana; también identifica prioridades medio ambientales como la conservación de la biodiversidad, protección de los océanos y mares, el cambio climático, residuos peligrosos, y recursos hídricos, así como una serie de temas transversales como la transferencia de tecnología, la pobreza, la población o el comercio. Asimismo, abordó la cuestión de cómo financiar el desarrollo sostenible, concentrándose en las necesidades de países en desarrollo y de las economías en transición (Jiménez-Beltrán, 2001). No obstante, la Agenda no logró operar en la mayoría de los países, y salvo algunas excepciones, su implementación estuvo retrasada y detrás de la planificación sostenible (Hollman, 2017).

En resumen, la Cumbre de Río se presentó como la conferencia del desarrollo y medio ambiente con un objetivo integrador. En ella se brindó material suficiente a la política ambiental para transformarla e instrumentarla de un nuevo modelo de desarrollo, el cual no implicaba menos desarrollo sino uno distinto (Jiménez-Beltrán, 2001). Sin embargo, la mayoría de las tendencias negativas observadas en Río permanecieron sin cambiar luego de años (Hollman, 2017).

### 3.1.5 Informes de Evaluación del IPCC

En 1988, a causa del creciente debate público respecto al calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono, el UNEP organizó un seminario internacional para identificar los sectores medioambientales que pudieran ser más sensibles a estos fenómenos, y se creó el IPCC, un foro para el estudio del calentamiento debido al efecto invernadero y los cambios climáticos mundiales (UN, 2007).

Se estableció que su principal objetivo es analizar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para la comprensión de los elementos científicos relativos al cambio climático de origen antropogénico, así como sus posibles repercusiones, riesgos y sus posibilidades de mitigación y adaptación al mismo, para posteriormente publicar informes sobre los temas hallados relevantes

para aplicar medidas en la UNFCCC. Cabe mencionar, que el IPCC no realiza investigaciones ni controla datos relativos al clima u otros parámetros pertinentes, sino que basa su evaluación principalmente en la literatura científica y técnica revisada por homólogos y publicada (CAR, 2014).

El Grupo de Expertos del IPCC, formado por representantes de los Estados Miembros, se constituye en tres Grupos de Trabajo los cuales, además de la elaboración de los informes, ofrece asesoramiento científico, técnico y socioeconómico a la comunidad mundial, en particular a las Partes de la UNFCCC (Zhang, Xie, Rao y Liang 2014). El Grupo de Trabajo I examina el progreso alcanzado en la comprensión de los factores humanos y naturales que afectan al cambio climático, es decir, la base científica del proceso. El Grupo de Trabajo II analiza los conocimientos actuales sobre el impacto del cambio climático en los sistemas naturales, de gestión y humanos, además de la capacidad de adaptación y nivel de vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales al cambio climático. El Grupo de Trabajo III se centra en los aspectos científicos, tecnológicos, medioambientales y socioeconómicos de las medidas de mitigación del cambio climático y las opciones para limitar las emisiones de GEI (Zhang et al., 2014).

Desde su creación el IPCC ha emitido evaluaciones integrales en 1990, 1996, 2001, 2007 y 2013, reportes metodológicos, artículos técnicos y reportes periódicos especiales en los cuales evalúa impactos específicos del cambio climático (UCSUSA, 2018). Aunque estos informes no emiten políticas, las conclusiones a las que llegan proporcionan una base científica a los gobiernos, a todos los niveles, para la formulación de políticas relacionadas con el clima, y sirven de apoyo para las negociaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima y la UNFCCC (IPCC, 2018a).

En 1990, el Primer Informe de Evaluación, a pesar de no contar con información conclusiva, fue lo suficientemente convincente para presentar el cambio climático como una de las amenazas más serias para el medio ambiente global. Se presentaron evidencias existentes en ese momento junto con una evaluación sobre el potencial impacto negativo del aumento de la temperatura en la salud de los seres humanos, su seguridad alimenticia, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales (Ponce Nava, 2006). Adicionalmente, el Informe desempeñó un papel decisivo en la creación de la UNFCCC, tratado internacional clave para la mitigación del calentamiento global y hacer frente a las consecuencias del cambio climático.

El Segundo Informe de Evaluación, emitido en 1995, se destacó por la información presentada por el Grupo de Trabajo I, el cual, entre sus diversos resultados, declaró que el dióxido de carbono es el factor más importante en la intensificación del cambio climático, las proyecciones de temperatura

global y del nivel del mar confirman el potencial que tienen las actividades humanas para alterar el clima de la Tierra, y las grandes escalas de tiempo que rigen la acumulación de GEI en la atmósfera y la respuesta del sistema climático a dichas acumulaciones, evidencian que muchos aspectos del cambio climático son efectivamente irreversibles (IPCC, 1995). La información proporcionada fue clave para las negociaciones que llevaron a la adopción del Protocolo de Kioto a la UNFCCC en 1997, el cual estableció objetivos para reducir las emisiones que atrapan el calor en la atmósfera (UCSUSA, 2018).

En 2001 se publicó el Tercer Informe de Evaluación, el cual centró su atención en los impactos del cambio climático y la necesidad de adaptación (IPCC, 2001). En el Informe se concluyó que los incrementos de temperatura durante el siglo XXI podrían ser significativamente mayores de lo que se pensaba anteriormente, la evidencia de la influencia humana en el cambio climático era más fuerte que nunca, los ecosistemas y las especies vulnerables al cambio climático y algunos de ellos se dañarán o perderán de forma irreversible, la adaptación a los efectos del cambio climático tiene el potencial de reducir los efectos adversos de éste y a menudo podría producir beneficios secundarios inmediatos, sin embargo, no será suficiente para evitar todos los daños, y que las influencias humanas continuarán cambiando la composición atmosférica a lo largo del siglo XXI (IPCC, 2001).

El Cuarto Informe de Evaluación, publicado en 2007, enfatizó que a partir de las observaciones del aumento de la temperatura media mundial del aire y del océano, el derretimiento generalizado de la nieve y el hielo y el aumento del nivel medio del mar, es posible concluir que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y muy probablemente, es decir superior al 90%, debido a actividades humanas. Adicionalmente, entre las conclusiones del Informe se mencionó que el calentamiento antropogénico y el aumento del nivel del mar continuarán durante siglos incluso si las emisiones de GEI se redujeran lo suficiente debido a las escalas de tiempo asociadas con los procesos climáticos y las reacciones, que la adaptación planificada requiere ser más amplia para reducir la vulnerabilidad al cambio climático, aunque es probable que el cambio climático a largo plazo, supere la capacidad de adaptación de los sistemas naturales, gestionados y humanos, y finalmente, que muchos impactos pueden reducirse, retrasarse o evitarse mediante la mitigación (IPCC, 2007).

El Quinto Informe de Evaluación se emitió entre 2013 y 2014; en él se afirmó que la influencia humana en el sistema climático es clara y las emisiones antropogénicas recientes de GEI son las más

altas de la historia (IPCC, 2014). Los hallazgos de este Informe proporcionaron el sustento científico suficiente para llevar a cabo el Acuerdo de París de 2014, en el que 197 países se comprometieron a limitar el calentamiento global a menos de 2 °C (UCSUSA, 2018). Actualmente, el IPCC se encuentra en su sexto ciclo de evaluación, donde se preparan tres informes especiales, uno metodológico y el Sexto Informe de Evaluación, el cual está previsto se publique en el primer semestre de 2022 (IPCC, 2018).

### 3.2 ¿CÓMO AFECTA EL USO DE LA ENERGÍA EN LA DESTRUCCIÓN DE LA TIERRA?

De manera general, los costos de la energía se integran de tres componentes principales: los costos asociados con la producción de energía, los costos relacionados con la red de distribución y los costos externos. Éstos últimos, representan el impacto que ejerce el sector energético sobre la sociedad y el medio ambiente; sin embargo, usualmente estos costos no se ven reflejados en los precios de la energía, sino que toda la sociedad los absorbe como resultado de la producción de energía (Bielecki, Ernst, Skrodzka, y Wojnicki, 2020).

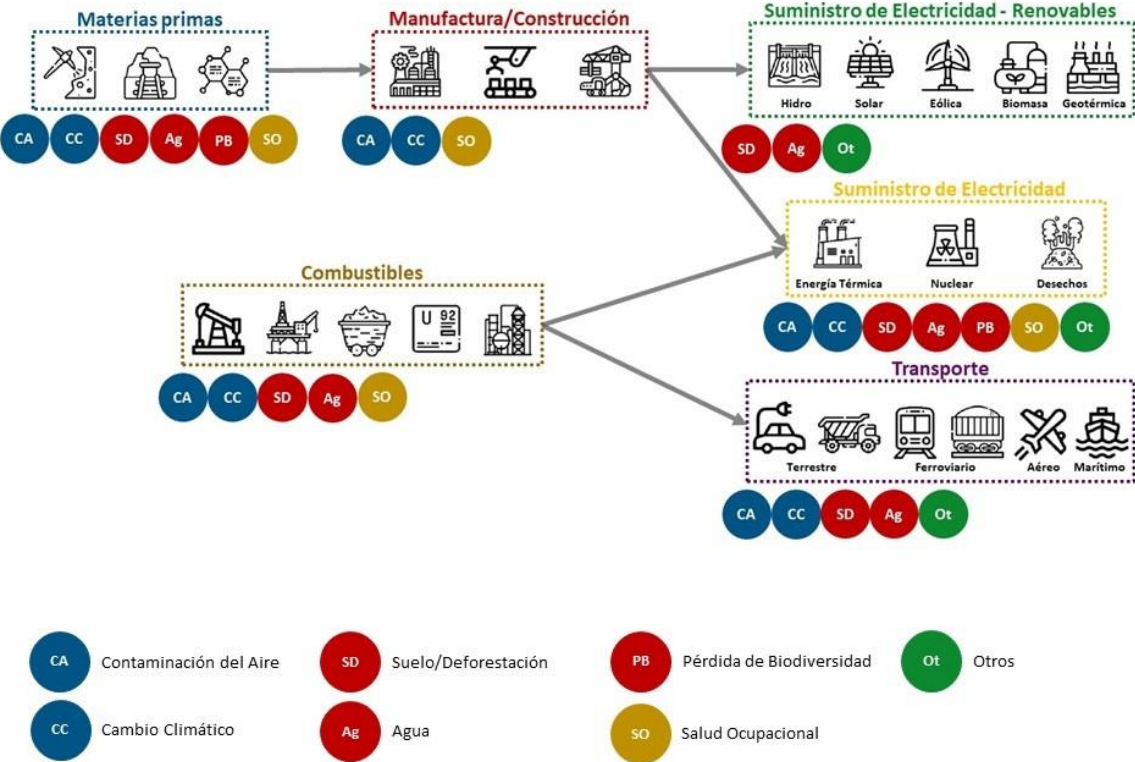


Figura 3.2. Fuentes y trayectorias de las externalidades asociadas con el suministro de energía y transporte. Fuente: Figura adaptada de Sovacool, Kim y Yang, 2021.

De esta manera, es que los costos externos se reflejan como una *externalidad* positiva o negativa, es decir, la actividad de un agente (en este caso, el sector energético) que afecta el bienestar de otro (el medio ambiente y la sociedad), ya sea de manera provechosa o perjudicial, y que ocurre fuera del mecanismo del mercado (Sovacool, Kim y Yang, 2021). Las externalidades negativas importan porque cuando no son contabilizadas, pueden causar una disminución en la calidad de vida de gran parte de la sociedad. Para este caso, las externalidades negativas de la energía han dirigido la destrucción de la Tierra (NRC, 2010).

Las externalidades ocurren en cada una de las etapas de la cadena de valor, desde la exploración a la producción, el transporte, la conversión o refinación, el consumo y el manejo de desechos (Figura 3.2) (Hall, 2004). Por lo que diversos estudios se han concentrado en conocer los efectos de la energía sobre el ambiente apoyándose del método de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual es una herramienta para desarrollar a detalle y de manera cuantitativa los flujos de energía y materiales asociados a todas las etapas en el ciclo de vida de los sistemas de generación eléctrica, incluyendo el antes (upstream) y después (downstream) de la central eléctrica (OECD, 2003).

### 3.2.1 Plantas Térmicas Convencionales

Las plantas que funcionan debido a la quema de combustibles fósiles, principalmente aquellas basadas en carbón contaminan de manera significativa el aire, agua y suelo a causa de la emisión de sustancias tóxicas y de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

#### *Carbón*

Las externalidades negativas de la generación de energía con carbón inician desde las minas y los métodos de extracción empleados (NRC, 2010). Las actividades mineras a cielo abierto requieren de importantes áreas de tierra, y a menudo se destruye la capa superior del suelo, elimina la vegetación y altera la vegetación. Se ha demostrado que la minería aumenta los niveles de minerales en el agua, cubre arroyos, divide los bosques, disminuye la calidad del suelo y degrada las comunidades bióticas de los ríos alrededor del área minera. El mayor riesgo ecológico en la minería subterránea es el colapso de la mina y el hundimiento gradual, que puede afectar los flujos de agua superficiales y subterráneos y, por lo tanto, las funciones del ecosistema en la región (OECD, 2018).

Así mismo, el proceso de extracción genera gran cantidad de desechos, los cuales pueden presentar serios problemas para el medio ambiente, especialmente aquellos que se producen tras el procesamiento del carbón (NRC, 2010). Estos desechos se caracterizan por contar con un pH



desfavorable, un bajo contenido de materia orgánica, la escasa capacidad de retención de agua, la acidez, la salinidad, el bajo nivel de nutrientes y la alta tasa de erosión, lo que constituye un entorno poco adecuado para el crecimiento de plantas y microbios y, por ende, para la regeneración del hábitat (Bielecki et al., 2020).

En cuanto a los GEI, además del CO<sub>2</sub> emitido durante la minería del carbón, el transporte y la generación de energía eléctrica, existen emisiones significativas de metano, un gas que se encuentra dentro de las vetas de carbón y se libera al extraerlas. Dado que el metano es un GEI con mayor Potencial de Calentamiento Global (PCG), las emisiones de este son de gran preocupación. También, durante la combustión del carbón para producir electricidad se generan emisiones de metales pesados. Entre los residuos de la combustión se encuentran metales como antimonio, arsénico, cobre, níquel, mercurio, entre otros, los cuales son altamente tóxicos para los humanos y para el medio ambiente. Las mayores rutas de exposición son a través de las emisiones en el aire y la lixiviación de contaminantes (NRC, 2010).

### *Petróleo*

De forma similar al carbón, las externalidades negativas del petróleo comienzan desde las actividades de perforación y transporte. Durante la extracción de crudo en aguas continentales se pueden tener importantes daños a hábitats, como los humedales y estuarios; además, en esta etapa se llegan a producir emisiones de GEI por el uso de motores y turbinas diésel, los cuales brindan energía al equipo de perforación (NRC, 2010).

Gran parte de la extracción de petróleo se lleva a cabo en altamar, donde los desechos de producción pueden causar graves daños a los ecosistemas oceánicos. Tanto los peces como las aves se ven afectados por los metales y aceites tóxicos contenidos en estos desechos (OECD, 2018).

Por otro lado, los derrames de petróleo son un riesgo constante en las plataformas petroleras, los cuales van desde un ligero derrame que puede provocar contaminación del agua, hasta un reventón de pozo que puede resultar en la liberación de agua, aceite, metano u otros fluidos contaminados. Esta mezcla se llega a esparcir en áreas amplias alrededor de la plataforma, contaminando agua, flora y fauna cercana (NRC, 2010).

Durante los procesos de refinación, se generan contaminantes los cuales incluyen compuestos orgánicos volátiles (COV), CO (monóxido de carbono), SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, amoníaco, metales, numerosos componentes orgánicos tóxicos y gran cantidad de aguas residuales. Siguiendo la cadena de valor,

más tarde la combustión de productos a base de petróleo producen emisiones de COV, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, entre otros GEI (NRC, 2010).

### *Gas natural*

El gas natural es el combustible fósil más “limpio”, el cual consiste principalmente de metano, y es consumido alrededor del mundo para dar calor, como combustible y para la generación de electricidad. De forma similar al crudo, las operaciones de perforación y extracción implican una cantidad significativa de contaminación del aire por la utilización de grandes motores diésel en el equipo de perforación, los cuales emiten volúmenes considerables de material particulado (PM), óxidos de azufre y óxidos de hidrógeno. Además de estas emisiones, se liberan importantes cantidades de metano, las cuales provienen de fugas del gas natural (NRC, 2010).

Comúnmente, el gas natural se produce utilizando métodos de recuperación mejorada. Las tecnologías que usualmente se emplean son el fracturamiento hidráulico y la perforación direccional. Para el *fracking* se utilizan explosivos o agua a presión, lo que aumenta las emisiones al aire y el ruido provocado por los procesos de inyección presurizada; y en cuanto a los pozos, estos pueden provocar derrames y erosión del suelo al preparar el sitio de perforación. En resumen, la mayoría de los daños por parte de la combustión del gas natural están relacionados directamente con la emisión de PM<sub>2.5</sub> (el cual representa el 56% de los contaminantes), seguido de NO<sub>x</sub> (37%), SO<sub>2</sub> (4%) y PM<sub>10</sub> (3%). Si bien muchas veces el gas no llega a utilizarse como combustible, y únicamente es venteado como un desecho, liberándose CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> si el gas es amargo (NRC, 2010).

### 3.2.2 Energía Nuclear

En el caso de la energía nuclear las externalidades cubren el ciclo completo del combustible, es decir, se presentan desde las actividades de excavación y procesamiento de uranio, el transporte de materiales y desechos radioactivos, la generación de electricidad, y la disposición de desechos radioactivos cuando llegue el momento de cerrar la planta nuclear (Bielecki et al., 2020).

La minería del uranio, debido a su explotación, procesamiento y producción de desperdicios tóxicos, tiene un efecto negativo considerable sobre el medio ambiente. El problema principal se encuentra en la contaminación del suelo y agua, así como, en el estado de la flora y fauna debido a la alta concentración de torio, uranio y sulfato que se encuentra cercana a las minas. También se ha encontrado que la minería del uranio tiene efectos negativos en la densidad del fitoplancton, el cual es crucial para el funcionamiento eficiente del medio ambiente biológico y responsable de gran

parte del oxígeno atmosférico (Bielecki et al., 2020). Para la salud el mayor daño se debe a las fugas de radón que ocurren naturalmente en las aguas contaminadas (OECD, 2018).

Aunque la minería del uranio tiene diversos efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, las principales externalidades de la operación de las centrales nucleares están relacionadas con los desechos radioactivos (NRC, 2010). Los residuos radioactivos son de muy baja, baja, media y alta actividad. Los primeros tres suelen almacenarse bajo la interposición de barreras de ingeniería (contenedores y celdas de hormigón) y barreras naturales y artificiales (capas de cobertura) que aíslan de forma segura los residuos durante el tiempo necesario para que se conviertan sustancias inocuas (Foro Nuclear, 2020).

Para los desechos de alta actividad es necesario pasar por instalaciones temporales intermedias en las que se pierda la mayor parte de su energía antes de ser depositado en un almacenamiento definitivo. Tras ser reducido el nivel de radioactividad, se lleva a cabo el Almacenamiento Geológico Profundo (AGP), que son estructuras de ingeniería mediante pozos y túneles en formaciones geológicas estables a gran profundidad (Foro Nuclear, 2020). Existen otros procedimientos de gestión de residuos, como el enterramiento y vertimiento de desechos sólidos de actividad media y baja en el fondo marino. Algunos otros se reciclan por medio de procesos de tratamiento, con el fin de reducir la cantidad de residuos a manipular (IAEA, 1976)

El problema radica en que los residuos nucleares pueden permanecer radioactivos durante miles de años y la gestión futura del sitio de almacenamiento es extremadamente incierta, lo que supone un peligro latente para la flora, fauna y salud humana. Por lo que las técnicas actuales de gestión de residuos no son más que una solución a corto plazo si se toma en cuenta que los lugares de resguardo no garantizan la seguridad total durante un periodo suficiente de tiempo (Rabl y Rabl, 2013).

### 3.2.3 Energías Renovables

Aunque las externalidades negativas de las fuentes renovables son poco comparables con aquellas provocadas por el uso de combustibles fósiles, es importante mencionarlas.

#### *Hidroeléctrica*

La energía hidroeléctrica es la fuente renovable más relevante, encargada de generar aproximadamente el 16% de la energía eléctrica mundial (IEA, 2018). A la construcción de las grandes presas se asocian cambios considerables en el ecosistema que las rodea como la alteración

de los caudales de ríos; debido a que algunos embalses son largos y anchos, se llegan a inundar grandes áreas de tierra; se crean enormes desechos de rocas los cuales pueden destruir paisajes históricos y ecosistemas acuáticos y terrestres (OECD, 2018); los grandes embalses aumentan enormemente la evaporación, lo que altera la humedad del aire en un área grande (Bielecki et al., 2020); entre otros daños.

Respecto a las emisiones de GEI, únicamente se asocian aquellas resultadas de la fabricación y construcción de las represas hidroeléctricas, principalmente debido al acero y el cemento (OECD, 2018). Por otro lado, en estudios recientes se demuestra que este tipo de centrales causan una importante cantidad de emisiones de metano debido a la acumulación de restos orgánicos en el agua estancada en el embalse (Bielecki et al., 2020).

### *Eólica*

Los estudios sobre costos externos se centran en los posibles efectos ecológicos y acústicos de la energía eólica (OECD, 2018). Los efectos ecológicos se concentran principalmente en las muertes de animales por el choque de estos en las turbinas. Se atribuyen muertes de aves y murciélagos que, a pesar de aún considerarse un número bajo de muertes, en caso de incrementarse el número de turbinas, podría tratarse de un problema mayor (NRC, 2010).

De manera similar a la energía hidroeléctrica y al resto de las fuentes renovables, no hay efectivamente emisiones de contaminantes atmosféricos en la generación de energía eólica; la mayoría de las emisiones y los efectos sobre la salud que las acompañan se producen antes de la generación, en particular durante la fabricación, el transporte y ensamblaje de las turbinas y demás partes (OECD, 2018).

### *Solar*

Una de las mayores preocupaciones relacionada con la generación de energía solar, se debe a que cierta parte de los metales utilizados en los paneles (por ejemplo, arsénico y cadmio) son tóxicos, lo que implica riesgos ambientales y para la salud pública debido a la emisión de metales durante la extracción, mejoramiento del material y actividades de manufactura asociadas con los sistemas fotovoltaicos (NRC, 2010).

Otros estudios demuestran que el tratamiento de los desperdicios, paneles solares principalmente, es un problema creciente. Los sistemas fotovoltaicos desgastados tienen un importante potencial de crear grandes cantidades de desechos, lo que genera preocupación por los químicos tóxicos en

los paneles que pudieran llegar a filtrarse en el suelo y agua, y causar daños a las funciones del ecosistema y al suministro de agua de poblaciones cercanas (NRC, 2010) (OECD, 2018).

### ***Biomasa***

Aunque se considera que la combustión de biomasa implica menor daño al ambiente que la quema de combustibles fósiles, su uso tiene otro tipo de efectos. En primer lugar, la producción de biomasa a escala industrial conduce a la expansión de las áreas agrícolas o al cambio de uso, es decir, se traslada la producción de alimentos a los cultivos energéticos (Bielecki et al., 2020), por lo que existe la preocupación que este cambio del uso de la tierra ponga en peligro la seguridad alimentaria (OECD, 2018).

Por otra parte, entre los efectos ecológicos, se destaca la destrucción del hábitat, principalmente por destinar gran cantidad de tierras para la siembra de cultivos energéticos; y el uso de pesticidas, los cuales pueden llegar a afectar la calidad del agua de los alrededores (NRC, 2010).

### **3.2.4 Cambio Climático**

Sabiendo las implicaciones de cada una de las tecnologías y combustibles más comunes para la generación de energía, considero correcto determinar que más que su lugar de origen, lo que importa son las existencias generales de GEI y la velocidad a la que se produce la acumulación de estos. Los GEI atrapados en la atmósfera retienen el calor y provoca el calentamiento global, proceso que da lugar al cambio climático. Este último afecta a las personas, la flora y fauna de diversas formas. Estos cambios potencialmente transformarán la geografía física y humana del planeta, afectando dónde y cómo vivimos (Stern, 2008).

### ***Impacto sobre la biosfera***

Una de las primeras consecuencias del cambio climático se ha hecho visibles en las formaciones de nieve y hielo alrededor del mundo, en donde se han documentado importantes pérdidas de glaciares debido al derretimiento de estos en los últimos años. El mismo efecto se ha presentado en el permafrost del hemisferio noreste. A causa del derretimiento de los glaciares se han observado decrementos en la salinidad de los océanos; los caudales máximos de los ríos asociados a la primavera se producen con anticipación en diversas áreas, lo que hace que haya menos agua disponible durante el final del verano y el otoño (NRC, 2010).

El cambio climático provoca modificaciones en el ciclo hidrológico con una mayor evaporación de ríos y mares, cambios en los patrones de precipitación, en la temperatura, la química y estructuras

de los distintos cuerpos de agua, además, de presentarse con mayor frecuencia grandes inundaciones y sequías en el mundo. Por otro lado, el mismo derretimiento de los polos ha estado provocando un incremento en el nivel del mar, que en conjunto con el aumento de la intensidad de las tormentas están erosionando rápidamente las costas de todo el mundo (NRC, 2010).

Derivado de los cambios en la criósfera e hidrosfera, muchas plantas y animales se han visto afectados, ya que requieren de condiciones ambientales muy específicas para poder sobrevivir. Los costos externos de los ecosistemas están relacionados con la contaminación en los sembradíos, pérdida de la diversidad biológica causada por la acidificación, eutrofización y el uso de suelo para la construcción de centrales (Bielecki et al., 2020). Una ligera variación en el ambiente puede hacer una región inhabitable para determinados miembros de la flora y fauna, obligándolos a migrar, adaptarse al nuevo ambiente o desaparecer (NRC, 2010).

#### *Impacto sobre los seres humanos*

Los efectos del cambio climático ya son tangibles en distintas partes del mundo y se han manifestado de diversas formas. En primer lugar, se está llevando a cabo una redistribución de la disponibilidad del agua, lo que provocará conflictos por ella entre regiones, pérdidas en la producción de cultivos, muertes prematuras y un mayor riesgo de enfermedades por escasez de agua. De igual manera, los cambios en la disponibilidad del agua y la creciente duración de las estaciones afectarán el tipo y rendimiento de los cultivos (NRC, 2010).

Por otro lado, estudios de Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) indican que en 2012 alrededor de 3 millones de muertes están asociadas a la contaminación del aire, de la cual, la generación de electricidad es el mayor contribuidor (OECD, 2018). El mayor daño a la salud humana es ocasionado por la emisión de partículas de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano (COVDM). Altos niveles de estas partículas incrementan el riesgo de cáncer (principalmente de pulmón y de mama), mayor prevalencia de defectos pulmonares innatos, anomalías de corazón y del sistema inmunológico en niños, mayor riesgo de asma o el empeoramiento de sus síntomas, entre otras consecuencias (Bielecki et al., 2020).

Además, el cambio climático genera diversos efectos sobre la calidad de vida y salud humana como el exceso de morbilidad y mortalidad asociado a enfermedades infecciosas, respiratorias y cardiovasculares debido a la sobreexposición al clima frío o caluroso extremo; el incremento de casos de enfermedades como la malaria, dengue, fiebre amarilla y otros virus relacionados con

roedores, garrapatas y aves; así como el desarrollo de desórdenes asociados con la sanidad, incluida enfermedades como el cólera y otras que ocurren con el incremento de tormentas y sequías prolongadas, entre otros impactos (NRC, 2010).

### 3.3 ¿QUÉ ESTRATEGIAS Y ACCIONES SE HAN IMPLEMENTADO EN RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO?

#### 3.3.1 Acuerdos Internacionales

##### *Protocolo de Montreal (1987)*

En 1974, tras el descubrimiento por James Lovelock de la presencia de clorofluorocarbonos (CFC) en la atmósfera (debido a su amplia aplicación en la refrigeración, el aire acondicionado, entre otros usos), Sherwood Roland y Mario Molina publicaron el resultado de sus investigaciones sobre la amenaza para la capa de ozono derivada de los CFC, ya que son extremadamente estables en la troposfera, y pueden llegar a la estratosfera donde son desintegrados por la radiación ultravioleta (UV-B) liberando el cloro que destruye el ozono, encargado de la absorción de prácticamente toda la radiación UV-B, la cual en exceso puede causar cáncer de piel, efectos perjudiciales para la flora y fauna, y repercusiones en el clima (Sabogal, 1998).

Estas confirmaciones científicas impulsaron a la comunidad internacional a tomar medidas para proteger la capa de ozono. Esto se formalizó con el Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono en 1985, y posteriormente culminó en 1987 con la redacción del Protocolo de Montreal, el cual entró en vigor en enero de 1989 y cuyo objetivo principal es la protección de la capa de ozono mediante el control de la producción y consumo de sustancias que la agotan, con la finalidad de eliminarlas gradualmente (UN, 2020).

Una de las particularidades del Protocolo es el sistema de Evaluación de las medidas de control que se deberá llevar a cabo por lo menos cada cuatro años teniendo en cuenta la información científica, ambiental, técnica y económica que se disponga; a partir de ello el Protocolo se ha ajustado en seis ocasiones y modificado en cuatro, en los cuales se ha suprimido la producción y consumo de otras sustancias o químicos como el tetracloruro de carbono, los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), entre otras sustancias, además, de haber adelantado el tiempo de supresión gradual de determinadas sustancias (Sabogal, 1998).

Gracias a lo establecido en el Protocolo, desde su adopción se han eliminado más del 98% de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO), a excepción de unas toneladas que se acordaron permitir para usos esenciales como las usadas en los inhaladores contra el asma, para el transbordador espacial, entre otras. La limitación de las SAO ha contribuido, en forma paralela, a mitigar el cambio climático, gracias a que la mayor parte de estas sustancias presentan un alto potencial de calentamiento global (CMM, 2017).

Se considera que el protocolo de Montreal es uno de los tratados ambientales internacionales más eficaces, así como un modelo de colaboración entre científicos con políticos, y entre países desarrollados y en vías de desarrollo (Sabogal, 2018). Además, fijó el ejemplo para las industrias, las cuales lograron producir sustancias alternas que no dañan el medio ambiente sin que esto representara pérdida de recursos (CMM, 2017).

#### *Protocolo de Kioto (1997)*

En diciembre de 1997, la UNFCCC aprueba el Protocolo de Kioto, el cual compromete a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de GEI en un 5% sobre los niveles de 1990 entre los años 2008 y 2012, de acuerdo con las metas individualmente acordadas (UNFCCC, 2014).

A pesar de haber sido aprobado desde 1997, el Protocolo no entró en vigor sino hasta el 16 de febrero de 2005, debido a un largo proceso de ratificación, que se caracterizó por la oposición de las industrias del carbón, petroleras y de automoción que consideraban sus intereses comerciales amenazados (WWF, 2001). Finalmente, se ratificó el Protocolo gracias a la entrada de Rusia y 141 países más, lo que permitió una sumatoria total de 61.5% de emisiones de gases que produce el hombre en el planeta, valor que superó el 55% acordado inicialmente (Ortiz Palafox, 2019).

El Protocolo nunca fue ratificado por países industrializados como Estados Unidos y Australia, por considerarlo contraproducente para sus economías. La posición tomada por este tipo de países provoca incertidumbre a los resultados, puesto que son los mayores contaminantes y/o responsables del calentamiento global, sin embargo, asumieron compromisos mínimos (Ortiz Palafox, 2019).

El Protocolo establece un listado de gases con potencial de calentamiento global que no estuviesen incluidos en el Protocolo de Montreal, así mismo, plantea que la reducción de emisiones puede llevarse a cabo dentro de distintos sectores de la economía, por lo que promueve la cooperación entre gobiernos (Ortiz Palafox, 2019). En virtud del Protocolo, los países deben cumplir sus objetivos



principalmente a través de medidas nacionales, sin embargo, el Protocolo ofrece tres mecanismos de mercado flexibles: Comercio Internacional de Emisiones, permite a los países que tienen unidades de emisión de sobra, es decir, las emisiones permitidas pero no "utilizadas", vender este exceso de capacidad a países que están por encima de sus objetivos; Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), permite a un país con un compromiso de reducción o limitación de emisiones implementar un proyecto de reducción de emisiones en países en desarrollo; y Aplicación Conjunta, permite a un país obtener unidades de reducción de emisiones (URE) de un proyecto de eliminación de emisiones en otro país, por lo que por un lado el país anfitrión recibe el beneficio de la inversión extranjera, mientras que el otro cumple con sus compromisos ambientales (UNFCCC, 2014).

Tras casi 24 años después de la formulación del Protocolo, su implementación no ha sido correspondida con las acciones suficientes para atacar verdaderamente las causas de la generación de emisiones de GEI, principalmente por parte de los países industrializados que se rehúsan a adquirir las obligaciones del Protocolo, además, de resultar cuestionables algunos mecanismos para la mitigación de emisiones (Ortiz Palafox, 2019).

#### *Acuerdo de París (2016)*

Conscientes de que el primer periodo de compromisos del Protocolo de Kioto expiraría en 2012, la comunidad internacional comenzó las discusiones para llegar a un acuerdo que modificara o sustituyera al Protocolo de Kioto para fortalecer el régimen climático. Los primeros debates iniciaron durante la 15° Conferencia de las Partes (COP15), y culminaron en diciembre de 2015, durante la 21° Conferencia de las Partes (COP21), con la firma del Acuerdo de París con el objetivo de combatir el cambio climático y acelerar las acciones e inversiones necesarias para lograr un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono (UNFCCC, 2018).

El objetivo del Acuerdo se centró en reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura mundial durante este siglo muy por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales, y mantener las acciones para limitar el aumento de la temperatura a no más de 1.5°C. Además, el Acuerdo busca adaptar los mecanismos de financiación a un sistema bajo de emisiones de GEI y a una trayectoria resistente al clima (UNFCCC, 2018).

El Acuerdo exige a todas las Partes actuar de acuerdo con las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), que son establecidas por cada país y que además incluye la obligación de informar periódicamente sus emisiones y esfuerzos de aplicación (UNFCCC, 2018). Sin

embargo, existe la preocupación que los niveles estimados de las emisiones de GEI en 2025 y 2030 resultantes de las NDC establecidas, no son compatibles con los objetivos del Acuerdo, es decir, se requerirá de un mayor esfuerzo de reducción de emisiones que el que suponen las NDC (Nava Escudero, 2016).

Entre los diversos aspectos que aborda el Acuerdo de París se destaca el objetivo de alcanzar cuanto antes las emisiones globales máximas para después reducirlas rápidamente y lograr un equilibrio entre las emisiones y las absorciones, por lo que se alienta a la conservación y mejora de los sumideros y depósitos de GEI. Así mismo, se establece un objetivo mundial sobre la adaptación al cambio climático, es decir, el aumento de la capacidad de adaptación, el fortalecimiento de la resiliencia y la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático (UNFCCC, 2018).

### 3.3.2 Electrificación del Transporte

De acuerdo con las estadísticas oficiales de la IEA, en 2018 casi el 30% del consumo total de energía en el mundo fue destinado al sector transporte. De ese 30%, aproximadamente el 65% proviene de combustibles fósiles. Es por esto, que electrificar el transporte significa dejar de alimentar toda la cadena de suministro de energía desde la extracción de petróleo hasta que se deposita en el tanque del automóvil (Ramírez Cabrera, 2019). Y aunque la generación de electricidad y calor es el sector más contaminante, es complicado reducir sus emisiones en el corto plazo debido principalmente a las grandes infraestructuras involucradas (Zhang et al., 2014).

La electrificación es una estrategia tecnológica clave para reducir la contaminación del aire en áreas densamente pobladas y una opción prometedora para contribuir a los objetivos de diversificación energética y reducción de emisiones de GEI de los países. Los beneficios de los vehículos eléctricos incluyen cero emisiones de escape, mejor eficiencia que los vehículos con motor de combustión interna (MCI) y un gran potencial para la reducción de emisiones de GEI cuando se combinan con un sector de electricidad con bajas emisiones de carbono (IEA, 2020).

De acuerdo con la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés), se requiere de cuatro lineamientos principales para el despliegue de los VE: 1. la electrificación de los vehículos, 2. la provisión suficiente de equipo de carga para estos vehículos, 3. la descarbonización de la generación eléctrica y 4. la integración de los VE a la red eléctrica. Es por esto por lo que masificar la venta y el uso de VE en el mundo dependerá de la implementación de políticas públicas, regulación e incentivos que se generen y respondan simultáneamente a las

necesidades y percepciones de los potenciales compradores y usuario de estas tecnologías (Pérez, Gutiérrez y Mix Vidal, 2019).

En 2010 tan solo circulaban unos 17,000 VE en el mundo, mientras que en 2019 se encontraron en circulación alrededor de 7.2 millones de vehículos. Esta electrificación del transporte se ha producido a través de múltiples modos, los cuales incluyen automóviles personales, taxis, vehículos compartidos, flotas municipales, autobuses urbanos, vehículos de dos o tres ruedas y, cada vez más, en los segmentos de vehículos comerciales y de carga (IEA, 2020).

Aunque la implementación de VE puede ayudar a mitigar la emisión de GEI y la contaminación del aire, todavía es difícil para los consumidores aceptar los VE, ya que no están dispuestos a pagar por prestaciones sociales que no les benefician directamente en el corto plazo (Zhang et al., 2014). Para mejorar la aceptación de los VE, los gobiernos han introducido una serie de políticas ambiciosas para apoyar y estructurar una nascente industria de VE (IEA, 2020), mediante incentivos financieros dirigidos tanto a consumidores como a la manufactura automotriz (Figura 3.3).

Es importante tomar en consideración que el nivel económico, de desarrollo, la coyuntura política y la concienciación de la población, entre otros, son factores determinantes que hacen que una misma medida sea fructífera en un Estado, mientras que en otro no logra alcanzar los objetivos propuestos (Arcos Vargas, Maza Ortega y Núñez Hernández, 2018).

### *China*

China ha mantenido una fuerte ventaja en la electrificación del transporte durante varios años. Al año 2019, representaba casi la mitad (47%) de la flota de automóviles eléctricos en el mundo. El marco de políticas para VE ha experimentado una transición gradual de formas directas a formas más indirectas de subsidios e incentivos, además de regulaciones.

En 2016, China estableció un sistema de subsidios para la compra de automóviles eléctricos, los cuales estuvieron altamente limitados debido al proteccionismo de la industria local. Junto con las mejoras constantes en el rendimiento de batería y las reducciones de costos, así como la expansión de modelos, el volumen de autobuses de carga eléctricos aumentó en China en los últimos años (IEA, 2020). Además, el gobierno trató de limitar la compra de vehículos convencionales para uso privado mediante controles de tráfico que incluían restricciones de circulación, de uso en horas pico y de carriles específicos (Zhang et al., 2014).

Sin embargo, existe un entendimiento de que el apoyo del gobierno solo puede ser transitorio, sobre todo debido al volumen de apoyo necesario a medida que aumentan los volúmenes de venta, por lo que en 2019 se redujeron los subsidios en aproximadamente la mitad como parte de una eliminación gradual de los incentivos directos (IEA, 2020).

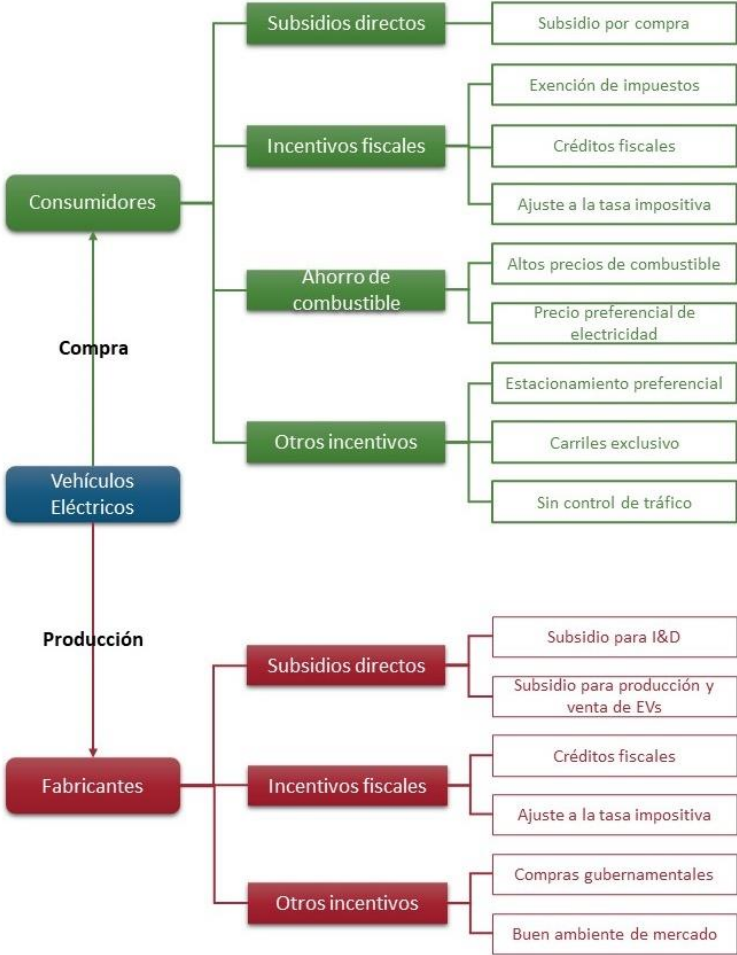


Figura 3.3. Marco de incentivos financieros para vehículos eléctricos. Fuente: Figura adaptada de Zhang et al., 2014.

**Europa**

Actualmente, Europa representa el 25% del stock mundial de VE con 1.7 millones. Por el momento, Noruega es el líder mundial de automóviles eléctricos, con el 13% del stock total en 2019. El gobierno noruego ha estado usando un amplio espectro de incentivos para hacer a los VE competitivos y atractivos (IEA, 2020), entre los cuales no solo existen créditos fiscales y subsidios directos como la exención total del IVA, sino también proporcionó estacionamiento gratuito y acceso al carril de autobús. Especialmente, el gobierno suministró 3,200 estaciones de carga

gratuitas para los consumidores, lo que resulta atractivo debido al elevado precio de la gasolina (Zhang et al., 2014). Además de las muchas ayudas, tanto financieras como exención de impuestos, se suma la destacable concienciación de la población noruega hacia su entorno (Arcos et al., 2018).

Por su parte, Alemania reveló en su Programa de Acción Climática 2030, que planeaba reducir las emisiones relacionadas con el transporte en un 40-42% para 2030 (IEA, 2020). El gobierno ha establecido impuestos en función de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido, además de ofrecer ayudas económicas a la compra de vehículos eléctricos, híbridos y de celda de combustible. También, los fabricantes alemanes se han catalogado como grandes productores de nuevos modelos de autos eléctricos, lo que caracteriza al país como promotor de desarrollo y exportación de tecnología y automóviles (Arcos et al., 2018). Finalmente, Alemania introdujo disposiciones para que todas las estaciones de servicio del país también brinden servicios de carga (IEA, 2020).

Por otro lado, el gobierno francés ha declarado su objetivo de eliminar gradualmente la venta de vehículos que emiten CO<sub>2</sub> directamente a partir de 2040. Además, define objetivos de despliegue de vehículos eléctricos, en 2028 contar con un stock combinado de 3 millones de vehículos de batería y/o de celda de combustible, y 500,000 vehículos híbridos o eléctricos comerciales ligeros (IEA, 2020). Por lo que Francia continúa ofreciendo una contribución a los compradores de vehículos eléctricos de acuerdo con el tipo de automóvil por adquirir, y cada vez se están disminuyendo más las ayudas destinadas a la compra de vehículos híbridos. También se han planteado incentivos fiscales para compañías que estén apostando por una flota de VE y reembolso de impuestos a los particulares que instalen un cargador (Arcos et al., 2018).

En general, la Unión Europea (UE) ha tomado un rol importante en la descarbonización de sus economías, en respuesta a las reticencias por parte de los gobiernos de Estados Unidos y China. Además de los incentivos económicos para compra de VE como la exención total del IVA, reducción de pagos por permiso de circulación, entre otros, los países europeos se han centrado en sanciones por el uso de vehículos con alta emisión (Barra González, 2020).

### *Estados Unidos*

Por su lado, Estados Unidos representaron el 20% del stock mundial de VE. Entre los incentivos establecidos se incluyó el crédito fiscal directo a los consumidores por la compra de un automóvil eléctrico o híbrido. Posteriormente, el gobierno federal propuso el Sistema de Reembolso de Permisos para Automóviles, a través del cual, las personas obtendrían de \$3,500 a \$4,000 USD por

cambiar su vehículo convencional por uno de mayor rendimiento de combustible, incluidos los vehículos híbridos. Muchos estados establecieron incentivos fiscales como reducción de impuestos o exenciones, y reembolsos por la compra de VE de batería o híbridos. Además de los incentivos financieros, se les proporcionó a los fabricantes de automóviles préstamos con el objetivo de incentivar el desarrollo de VE (Zhang et al., 2014).

Sin embargo, en marzo de 2020, la administración de los Estados Unidos propuso revisiones a los estándares de eficiencia de combustible de vehículos de pasajeros y camiones ligeros. Los esquemas propuestos constituyeron un retroceso significativo de los estándares federales aprobados en 2012, ya que reducen la mejora anual en términos de ahorro de combustible del 4.7% en la regulación actual al 1.5% para los años modelo 2021 a 2026. Adicionalmente, el Congreso de los Estados Unidos decidió no extender el crédito fiscal federal que proporcionaba exenciones de impuestos para la compra de VE (IEA, 2020).

A pesar del gran crecimiento de las ventas durante la última década, la cantidad de automóviles eléctricos de pasajeros todavía representa solo una pequeña fracción (menos del 1%) de todos los automóviles en circulación en todo el mundo, lo que significa que el mercado de los automóviles eléctricos aún depende del apoyo gubernamental (IEA, 2020). Asimismo, el despliegue de VE en el mundo presenta desafíos para enmarcar la regulación de la energía, debido al impacto que éstos tendrán en las redes de transmisión y distribución, el incremento en el consumo de energía y la dificultad de predecir los patrones de consumo, dejando a la generación distribuida como alternativa para flexibilizar el sistema eléctrico (Pérez et al., 2019).

### 3.3.3 Desinversión de Combustibles Fósiles

#### *El Movimiento*

El movimiento de desinversión ha sido definido como un proceso el cual deslegitima el sector de los combustibles fósiles bajo el argumento de que no es un modelo de negocio legítimo (Braungardt, van den Bergh y Dunlop, 2019). Sus inicios se atribuyen al escritor y activista estadounidense Bill McKibben, quien replicó en 2012 que, para evitar un calentamiento global catastrófico, era necesario mantener la mayoría de las reservas de combustibles fósiles en el subsuelo. Posteriormente, el movimiento se llamó 350.org, el cual era parte de un activismo estudiantil y buscaba la desinversión en las reservas de carbón. La campaña se extendió hasta 50 universidades

y amplió su objetivo del carbón a las 200 principales empresas de combustibles fósiles que cotizan en la bolsa (Ayling y Gunningham, 2015).

El objetivo principal del movimiento es lograr una ruptura completa con los combustibles fósiles y un cambio tecnológico disruptivo, a través de la evidencia científica del cambio climático y con argumentos morales los cuales sostienen que la industria de los combustibles fósiles es altamente inconsistente con las estrategias de mitigación del cambio climático. Dicho en otras palabras, las campañas de desinversión buscan deslegitimar la industria y crear el espacio político para que los legisladores pongan un precio a la contaminación por carbono, realicen las inversiones necesarias en energía limpia y renovable en lugar de otorgar subsidios masivos a la industria de los combustibles fósiles (Braungardt et al., 2019).

El movimiento trata de presionar, facilitar y alentar a los inversionistas en general a desinvertir en reservas de combustibles fósiles por medio de estrategias, las cuales se basan en diversos argumentos del discurso de la campaña. Primero, la necesidad de romper con el círculo vicioso entre la inercia política, el cortoplacismo financiero y los intereses propios de la industria, que en conjunto bloquean el progreso de la transición energética. Por otro lado, se plantea que, en el caso de desplegarse una política climática para lograr los objetivos planteados en el Acuerdo de París, los inversionistas enfrentarían el riesgo de que gran parte de las reservas declaradas por las empresas de combustibles fósiles se conviertan en activos varados. Finalmente, se esperaría un mayor impacto por parte del movimiento, si el dinero se reinvirtiera en tecnologías de energía limpia y eficiencia energética (Braungardt et al., 2019).

A pesar del crecimiento acelerado del movimiento de desinversión, el capital ha continuado fluyendo hacia los combustibles fósiles desde la firma del Acuerdo Climático de París en 2015 (Carlin, 2021). Queda claro que los inversionistas no se mueven a través de principios morales sino por la obtención de ganancias. Como argumentos en contra del movimiento, se ha manifestado que, incluso asumiendo un aumento drástico en la desinversión de empresas de combustibles fósiles, siempre habrá inversionistas dispuestos a comprar las acciones, por lo que prácticamente no existiría ningún impacto económico en la industria (Braungardt et al., 2019).

Además, se ha expresado que el cambio climático es un problema mundial, por lo que no habría que enfocarse únicamente en las empresas petroleras, ya que todo es una cadena de valor, y los responsables son tanto las compañías energéticas como los consumidores. Incluso, se ha considerado inconsistente e injusta la desinversión en petróleo, ya que no contempla una

modificación al comportamiento de la demanda, y desinvertir privaría a aquellos países pobres al desarrollo económico y al acceso a la energía (Braungardt et al., 2019).

Pese a ser un movimiento polémico y carente de cierto grado de autoridad y legitimidad, ha tenido algunos éxitos durante sus primeros años. De acuerdo con datos de *Go Fossil Free*, hasta el tercer trimestre de 2017, el movimiento había movilizó compromisos de desinversión de al menos un tipo de combustible fósil de aproximadamente \$5.53 billones de dólares. Instituciones como la Universidad de Stanford anunciaron su decisión de deshacerse de sus acciones de carbón y de no realizar nuevas inversiones directas en empresas para las que la extracción de carbón es el negocio principal (Ayling y Gunningham, 2015).

Los movimientos de desinversión más activos se encuentran en Estados Unidos y en el Norte de Europa. En 2018, Nueva York se convirtió en la primera gran ciudad estadounidense en establecer una meta de desinversión, la cual buscaba retirar \$195 millones USD para fines de 2020 y duplicar sus inversiones en soluciones para el cambio climático a \$4,000 millones USD para 2021. Otras ciudades se han comprometido recientemente a salir de las inversiones en combustibles fósiles, como Melbourne, Australia; Berlín, Alemania; y Estocolmo, Suecia (Expansión, 2020).

Adicionalmente a los impactos financieros, los efectos más amplios del movimiento provienen de la estigmatización social y política de las actividades de las empresas de combustibles fósiles y las incertidumbres resultantes en torno a su viabilidad a largo plazo. La campaña de desinversión ha forzado un reconocimiento fundamental del futuro del sistema energético global dentro de las finanzas, el gobierno y la sociedad civil (Carlin, 2021).

#### *Empresas petroleras hacia lo verde*

Por su parte, y por razones más allá de las planteadas por el movimiento de desinversión, las grandes petroleras han comenzado a dejar de lado los combustibles fósiles para posicionarse como empresas de energía, tal es el caso de *British Petroleum*. La sexta compañía más contaminante del mundo se ha comprometido a hacer una transformación radical en sus operaciones para que en el año 2050 sus emisiones de carbono sean igual a cero. Su estrategia se basa en reducir la producción de petróleo y gas para enfocar sus esfuerzos de la compañía a las energías renovables (Meza Orozco, 2020).

Por otra parte, y como ejemplo de compromiso con el Acuerdo de París, el Parlamento noruego ha aprobado la decisión del Fondo de Pensiones de Noruega de desinvertir en las empresas de petróleo



y gas, por valor de 11,000 millones de euros para comenzar a apostar en las energías renovables. La medida se ha convertido en la mayor desinversión en combustibles fósiles, y supone que la decisión tendrá una repercusión inevitable en los mercados internacionales (Noceda, 2019). En general, este tipo de acciones son impulsadas en parte por la preocupación por el medio ambiente, así como por la necesidad de diversificar el negocio, ya que las ganancias de todas las petroleras cayeron aproximadamente un 22%, incluidos los ingresos de las grandes compañías, tales como *Saudi Aramco* (Meza Orozco, 2020).

### *Diversificación económica*

La transición hacia energías con emisiones de carbono bajas o nulas es una meta prioritaria en la labor para limitar el calentamiento mundial y puede perjudicar a los países ricos en petróleo. De lograrse las metas planteadas en el Acuerdo de París, un tercio de las reservas de petróleo, la mitad de las de gas y el 80% de las de carbón nunca saldrán del subsuelo. Entre los más afectados por estas medidas estarían las naciones productoras de petróleo, por lo que es prioritario que gobiernos y empresas se diversifiquen para mitigar el riesgo y adaptarse al mismo. Deben formular políticas para abordar los riesgos y aprovechar las oportunidades que presenta la transformación del sistema energético (Arezki, 2017).

Varios países ya han puesto en marcha ambiciosos proyectos de diversificación, tales como Arabia Saudita, uno de los mayores productores de petróleo y gas en el mundo, que en un intento por remodelar su economía lanzó el programa Visión 2030, el cual es un marco de objetivos y estrategias que buscan reducir la dependencia de Arabia Saudita del petróleo, diversificar su economía y desarrollar sectores como salud, educación, infraestructura, recreación, minería y turismo (Visión 2030, 2015). La diversificación de la economía se ha vuelto una prioridad para el gobierno tras un periodo prolongado de petróleo barato, lo que resultó en un déficit presupuestario de alrededor de \$98 mil millones de dólares en 2015 (Omran y Stancati, 2016), y como parte del plan y de la voluntad política para apoyarlo, el país anunció una oferta pública del 5% de la petrolera estatal, *Saudi Aramco* (Arezki, 2017).

De manera similar, durante las últimas dos décadas, China ha experimentado un gran desarrollo económico, unido a un fuerte proceso industrializador, lo cual convirtió al país en un gran consumidor y productor de materias primas como el petróleo, cobre o hierro (Echave Palacios, 2016). Ahora que los precios de las materias primas han descendido por la situación internacional, se ha puesto en manifiesto los problemas estructurales de la economía china tan poco diversificada,

cuyos productos de exportación carecen de valor agregado y apenas tienen producción industrial local (Llorente, 2016).

Bajo este contexto, el gobierno chino ha iniciado un cambio a su modelo de desarrollo intensivo por uno más sostenible, priorizando el sector servicios y el consumo de sus ciudadanos (Llorente, 2016). Además, busca expandir los flujos comerciales y de inversión con el fin de modificar su estructura mediante la inversión en tecnología y conocimiento, infraestructuras, logística y servicios con valor agregado, logrando una economía circular y no meramente extractiva (Bárcena, 2015). Finalmente, dentro de sus programas de reformas, el Gobierno chino ha prometido atajar el problema de la sobrecapacidad en sectores como el acero, el carbón, el cemento o el cristal, cuya situación ha minimizado la demanda y muchas compañías se han vuelto incapaces de continuar operando (Vidal, 2005).

### 3.3.4 Economía Verde

Como se ha mencionado anteriormente, la crisis climática y energética no es un accidente sino consecuencia directa del desarrollo extractivo e intensivo de algunas naciones, dicho en otras palabras, es a causa de las deficiencias estructurales de los mecanismos del capitalismo financiero, el cual opera considerando únicamente las ganancias de corto plazo y rechazando las externalidades negativas de su comportamiento. Este modelo de desarrollo no es sostenible pues se enfrenta a límites económicos, sociales y ecológicos que lo llevan a fracasar, por lo que se ha insistido la importancia de reformar el sistema financiero; de manera más concreta, se busca la transformación completa de los modos de extracción y producción de energía, de los patrones de consumo y de las formas de movilidad y vivienda (Martínez Peniche, 2013).

En respuesta a esta necesidad de cambio, se ha propuesto el concepto de Economía Verde. Inicialmente, el término estuvo orientado a la recuperación de los empleos que se perdieron con la crisis financiera global (Martínez Peniche, 2013), aunque actualmente su significado es mucho más amplio. Más recientemente, la economía verde se ha definido como el conjunto de modelos de producción integral e incluyente que toma en consideración variables ambientales y sociales, produce bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente (Sukhdev, Stone y Nuttall, 2010).

La implementación de un modelo de economía verde tiene por objetivo final mejorar las condiciones de vida de los más pobres, disminuir la desigualdad social, los riesgos ambientales y la

escasez ecológica. Su enfoque se basa en el reconocimiento del capital natural, es decir, considera como activos naturales a los bienes y servicios medioambientales como los bosques, lagos o pantanos, los cuales han sido invisibilizados por el actual sistema económico (Campos, 2010).

Para llevar a cabo la transición a una economía verde se requiere una serie de circunstancias favorables las cuales consisten en normativas, políticas subsidios e incentivos nacionales; así como la necesaria reasignación de las inversiones públicas y privadas para desarrollar y mejorar el capital natural (Sukhdev et al., 2010), a través de la innovación verde, dirigida a su vez a la creación de tecnologías ambientalmente sustentables que permitan abrir nuevos mercados y empleos verdes. Además, se insiste en cambios a la estructura fiscal e impositiva que impiden el crecimiento ecológico, como subsidios mal focalizados, reglas poco claras, impuestos no progresivos y obstáculos al comercio de bienes y servicios ambientales (Martínez Peniche, 2013).

Para la implementación de una economía verde se debe permitir que los países en desarrollo avancen a su propio ritmo, respetando sus objetivos, circunstancias y limitaciones; mientras que los países desarrollados tienen un papel fundamental en el desarrollo de las habilidades y capacidades en los países en desarrollo, así como en la creación de un mercado internacional y de infraestructura que promueva este nuevo modelo (UNEP, 2011).

Recientemente, el enfoque de la economía verde ha sido abordada en distintas partes del mundo. Uno de los países con mayor desarrollo en materia es Suecia. Fue el primer país en imponer un impuesto al carbono en 1991; como se comentó anteriormente, destaca en el despliegue de vehículos eléctricos a través de diversos tipos de subsidios; alcanzó su objetivo de un 50% de electricidad renovable en 2020, es decir, ocho años antes de lo comprometido; el 70% de los empleados en Suecia pertenecen a un sindicato, las pensiones estatales son generosas e integrales, y es uno de los países más equitativos del mundo en términos de ingresos; se han liquidado subsidios a los combustibles fósiles y se han extendido nuevas líneas de crédito a las industrias ecológicas. En general, Suecia se ha enfocado en una transición verde enfocándose en la descarbonización, la eficiencia energética, los empleos verdes y la restauración ambiental (GET, 2021).

Por otro lado, Costa Rica se ha posicionado como un líder mundial en acción ambiental con un progreso alentador hacia la neutralidad de carbono y un programa de reforestación exitoso. Se ha convertido en un país próspero y políticamente estable, y gracias a las fuertes inversiones en educación, salud y servicios sociales, también cuenta con una de las tasas de pobreza más bajas en América Latina. Ha logrado diversificar con éxito su economía, centrándose en las finanzas, los

productos farmacéuticos y a la industria de ecoturismo. Además, se ha colocado como uno de los países más ricos del mundo en vida silvestre; es país líder en sostenibilidad de acuerdo con la New Economic Foundation; genera casi toda su energía eléctrica a partir de fuentes renovables y ha establecido un compromiso de convertirse neutral en carbono para 2050 (GET, 2021).

Otros países como Alemania, Austria y Francia destacan en su progreso hacia una economía verde, sin embargo, aún se identifican áreas en las que pueden mejorar su desempeño ecológico. Estas oportunidades se centran en disminuir la intensidad de carbono de su economía, la innovación en tecnologías limpias, mejores prácticas de sostenibilidad corporativa, y la eficiencia del carbono (Dual Citizen LLC, 2016).

A menor escala otros países han desarrollado proyectos exitosos bajo el enfoque de una economía verde, como es el caso de Uganda y Brasil. Uganda por su parte ha transformado la producción agrícola convencional en un sistema de agricultura orgánica, lo que ha traído importantes beneficios para su economía, sociedad y medio ambiente. Este sistema de agricultura promueve y mejora la salud de los ecosistemas agrícolas, incluida la biodiversidad, los ciclos y la actividad biológicos del suelo; además, prohíbe el uso de insumos sintéticos como fertilizantes y pesticidas. Por otra parte, Brasil ante el rápido crecimiento de las áreas urbanas abordó con éxito los requerimientos de transporte de su población. Implementó sistemas innovadores de *Bus Rapid Transit*, lo que ofrece un ejemplo de planificación urbana e industrial integrada que además de solucionar el alto uso de transporte privado, permitió la ubicación de nuevas industrias y la creación de empleos (Sukhdev et al., 2010).

### 3.3.5 Transición Energética

Las señales de que se está produciendo una transición energética global son cada vez más evidentes. El dominio del sistema por parte del carbón y el petróleo llega a su fin, dándole paso al gas natural, y poco a poco, mayor participación a las energías renovables. Esto último sea asevera con base en el crecimiento anual de los energéticos considerando un periodo de 2010 a 2019; mientras el gas natural y las energías renovables tuvieron un crecimiento de 2.38% y 12.9%, respectivamente; el consumo de petróleo y gas únicamente incrementaron 1.4% y 0.5%, respectivamente durante el mismo periodo (Figura 3.4) (BP, 2020).

De acuerdo con la tendencia, es muy probable que el gas supere al carbón para convertirse en la segunda mayor fuente de energía primaria en los próximos años. Actualmente las energías

renovables ya han superado a la nuclear y se prevé que superen a la hidroeléctrica durante la próxima década. Sin embargo, el consumo total de energía ha aumentado con tanta fuerza que ha elevado el consumo de todas las fuentes, incluso de aquellas que se encuentran en declive relativo; lo que significa que la transición energética podría hacer que las emisiones aumenten a medida que incrementa el consumo de gas, petróleo y posiblemente el carbón, aunque la producción de energías renovables aumente más rápidamente (Kemp, 2020).

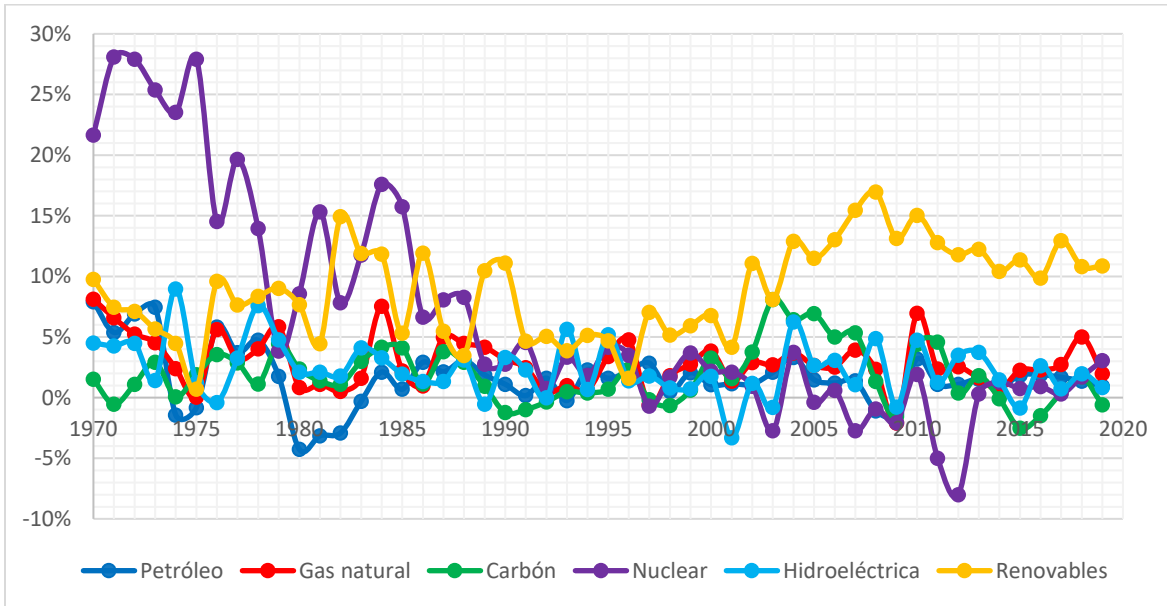


Figura 3.4. Tasa anual de crecimiento del consumo de energía primaria (1970–2019). Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical 2020.

Para que las energías renovables fueran capaces de reemplazar por completo al carbón, su producción de energía actual debería multiplicarse por cinco, mientras que para reemplazar al petróleo su producción se debería incrementar casi siete veces. Ahora bien, si el objetivo es desplazar por completo a los combustibles fósiles, la producción de las energías renovables (sin considerar la hidroeléctrica) tendría que ser casi 17 veces mayor respecto a los niveles actuales (BP, 2020).

Dada esta realidad, el consumo mundial de gas, petróleo y, posiblemente, del carbón continuará creciendo en términos absolutos en las próximas décadas, incluso cuando las energías renovables aumenten su participación en el mercado energético. Por lo tanto, para cumplir los objetivos de emisiones de CO<sub>2</sub> y respecto al límite de la temperatura global, es indispensable la participación de la energía nuclear e hidroeléctrica, así como el desarrollo e implementación de tecnología de captura y secuestro de carbono (CSC) para compensar la combustión de combustibles fósiles (Kemp,

2020). Las limitantes de esta propuesta se hallan en las externalidades negativas aún no resueltas por parte de la energía nuclear, así como los accidentes pasados (Chernóbil en 1986 y Fukushima en 2011) que la condenan; por su parte, la energía hidráulica es constantemente desaprobada por los daños ecológicos que provoca a su alrededor; y el despliegue de tecnología de CSC actualmente se encuentra limitado por su etapa de desarrollo y por las condiciones económicas desfavorables.

De momento, el gas natural es la fuente de energía más competitiva y limpia para satisfacer las necesidades energéticas, garantizando la viabilidad económica y los compromisos de reducción de emisiones y de calidad de aire, y funcionando como un complemento para la integración de energías renovables. Además, el gas cuenta con alto potencial de crecimiento en el sector transporte, principalmente de mercancías (El Independiente, 2017).

Con el progreso actual, lo que se necesita ahora es acelerar la transición y escalarla para tener la posibilidad de mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de 2°C, preferentemente 1.5°C. Resulta necesario y urgente poner fin a los subsidios a los combustibles fósiles, apoyar el despliegue de energías renovables y la eficiencia energética, aumentar las finanzas verdes, poner un precio justo al carbono, entre muchas otras medidas que pudieran acelerar el proceso (WWF, 2016).

### 3.4 ¿QUIÉNES Y DE QUÉ FORMA SE HAN RESISTIDO A LA TRANSICIÓN?

#### 3.4.1 Movimiento Negacionista

A finales de los años ochenta, tras la creación del IPCC, se creó una serie de grupos de presión con el objetivo de impedir que se tomaran medidas políticas para detener el cambio climático, dicho en otras palabras, una red negacionista que se ha encargado de rechazar la evidencia de la dinámica del cambio ambiental y el componente antropogénico del mismo, consiguiendo así generar dudas de manera que las acciones que se pudieran emprender queden bloqueadas por la inacción (Abellán López, 2021).

Dentro del movimiento negacionista se encuentran el *Global Climate Coalition* (GCC), disuelto en 2002 pero con algunos de sus miembros, como el *American Petroleum Institute* (API), aún activos en la campaña; el *Climate Council* (Australia); y el *Information Council on the Environment*, conformado por importantes compañías de carbón y de combustibles fósiles (Greenpeace, 2010).

Los negacionistas han conseguido alcanzar un estatus importante en las discusiones científicas, políticas y en la esfera pública, a menudo bajo la apariencia del intelectualismo. Entre sus argumentos, sostienen que el cambio climático es un proceso del ciclo natural, que el CO<sub>2</sub> forma parte de la vida y su impacto en la atmósfera es mínimo. Sin embargo, el incremento de la evidencia científica hace cada vez más insostenible negar la realidad, lo que da lugar a un grupo de interés que se presentan como intérpretes de la ciencia (Abellán López, 2021), y no niegan el fenómeno, pero argumentan que las acciones para mitigar los efectos del calentamiento global son económicamente destructivas y ambientalmente insignificantes. Incluso, este grupo de escépticos ha argumentado que las medidas multilaterales para combatir la crisis climática podrían conducir a una pérdida importante de soberanía nacional (Collomb, 2014).

El contexto negacionista ha bloqueado con eficacia acciones políticas para enfrentar el calentamiento global, y a su vez, esta falta de intervención política es la causa de la apatía en el público. Es decir, la gente ve que los políticos no están tratando de resolver el problema y, por tanto, piensa que el calentamiento global no es un asunto prioritario. Lo que se transmite es que la cuestión medioambiental no requiere atención en la agenda pública, y bajo estas circunstancias, no se reconoce como un gran problema social y se difiere para el futuro (Abellán López, 2021).

Sin embargo, la negación del calentamiento global tiene menos que ver con la ciencia que con los intereses particulares de determinados actores. Muchos consideran estas corrientes ideológicas como instrumentos de los verdaderos responsables del negacionismo: todas aquellas empresas que actualmente manejan las reservas de combustibles fósiles. De hecho, se ha demostrado que la industria energética fue la primera que empezó a generar informes alternativos al consenso científico, por ejemplo, la empresa petrolera Exxon tenía informes sobre el cambio climático desde 1977, sabían qué pasaba y que sus actividades extractivas podían empeorarlo (López Palacios, 2019).

Se tiene conocimiento que esta red negacionista ha sido financiada por las compañías de combustibles fósiles, ya que los hallazgos por parte del IPCC representan una probable disminución de la participación del petróleo en el suministro mundial de energía. Esta influencia empresarial sobre el clima hace uso de dos estrategias principales: primero, trata de capturar la narrativa política y la comprensión pública del cambio climático a través de lobbies y grupos de interés presentados como intelectuales cuyo propósito es desincentivar las motivaciones para pasar a la acción contra el calentamiento global (Abellán López, 2021); y la segunda estrategia, implica esfuerzos más

directos para bloquear y oponerse o derogar las regulaciones una vez que los políticos o legisladores las han propuesto o implementado, en otras palabras, lo que se conoce como cabildeo o lobby (InfluenceMap, 2019).

### *Lobby de los combustibles fósiles*

La industria del petróleo y el gas ejerce una enorme influencia sobre los procesos legislativos y marcos regulatorios a través de lobbies energéticos, cuya función es paralizar la acción gubernamental. Estos actores poseen influencia y dinero, con lo cual son capaces de montar congresos, emitir informes, financiar publicaciones o, incluso, comprar opiniones para enturbiar el debate (López Palacios, 2019).

Uno de los movimientos negacionistas más influyentes sobre el consenso ambiental se encuentra en Estados Unidos. Su éxito notable sobre la opinión pública y la obstaculización a la regulación se relaciona con las compañías de petróleo y gas, sus grupos industriales y con las millonarias inversiones por parte éstas en actividades de cabildeo y marca relacionadas con el clima (InfluenceMap, 2019).

Por una parte, diversos informes han demostrado la influencia sobre el sistema político estadounidense que tienen las empresas petroleras mediante el gasto estratégico de dinero en campañas a nivel federal y estatal para elegir políticos que impulsen políticas que apoyen a socavar las protecciones ambientales, impulsar legislación pro-industria y asegurar subsidios. Gracias a las leyes de financiamiento de campañas en Estados Unidos, la industria energética dona directamente a los comités de candidatos u organizaciones de partidos políticos millones de dólares, con el fin de comprar “favores políticos” o, simplemente, llevar la delantera en la formulación de políticas (Noël y CWA, 2016).

Parte de este gasto de lobby se destina a esfuerzos para capturar la narrativa pública sobre el cambio climático y la transición energética. Un ejemplo de ello es la petrolera BP, quien ha coordinado recientemente mensajes publicitarios para presentar la crisis climática como un desafío dual, en el que se trata de satisfacer la creciente demanda de energía al mismo tiempo que se aborda el cambio climático. Este tipo de avisos contrarrestan la creciente presión social sobre el clima, sin la necesidad de aplicar esfuerzos decisivos para cambiar sus prácticas comerciales y de cabildeo (InfluenceMap, 2019).



Otro ejemplo de lo influyente que puede llegar a ser la industria energética sobre la política de Estados Unidos se dio durante la administración del expresidente George W. Bush, quien afirmaba que el debate científico sobre el cambio climático aún se consideraba abierto y que le hacía falta certeza científica, aunque durante su campaña presidencial su opinión era contraria (Greenpeace, 2010). Posteriormente, el presidente Bush decidió no ratificar el Tratado de Kioto, que como se mencionó anteriormente, fue uno de los primeros documentos que buscaron darle solución a la crisis ambiental. Aunque oficialmente su decisión se argumentó bajo el esfuerzo de proteger la economía del país, se ha especulado la probable influencia y presión por parte de la petrolera ExxonMobil (Vidal, 2005), además, del probable temor de que una fuerte acción climática pudiera reducir la competitividad estadounidense con naciones en ascenso como China (Collomb, 2014).

De manera similar, ocurrió con el Acuerdo de París, el cual fue ratificado durante la administración del expresidente Barack Obama. Sin embargo, a menos de cinco meses después de llegar al poder, el expresidente Donald Trump puso en marcha el proceso para romper con el Acuerdo y sus compromisos, argumentando que éstos ponían en “permanente desventaja” a la economía y a los trabajadores estadounidenses (Forbes, 2020). Su salida fue confirmada el 4 de noviembre de 2020, la cual representa un golpe para la lucha contra el cambio climático, puesto que Estados Unidos es el segundo mayor emisor de GEI del mundo; su participación y compromiso habría representado una reducción significativa de emisiones y una presión a otras naciones para cumplir sus objetivos (Kann, 2020). Afortunadamente, el nuevo presidente electo Joe Biden, aseguró desde su campaña la reincorporación al Acuerdo, la cual ha sido confirmada el pasado 20 de enero por parte de las Naciones Unidas (UN, 2021).

A manera de conclusión, es innegable que el movimiento de negación del cambio climático surge de un esfuerzo concertado por parte de las industrias de combustibles fósiles para proteger sus propios intereses económicos de la regulación, contribuyendo con generosas sumas de dinero a grupos estratégicos con el doble objetivo de garantizar que los funcionarios electos y figuras públicas simpaticen con la experiencia y conseguir la evidencia científica necesaria para contrarrestar también los argumentos de los defensores de las regulaciones ambientales (Collomb, 2014). La razón del movimiento se consolida en que aceptar que los productos de la civilización industrial dañan irreparablemente el medio ambiente es aceptar el fracaso del mercado y reconocer los límites del capitalismo de libre mercado, por lo que la negación parecer ser una mejor estrategia que la reestructuración del sistema económico global (Oreskes y Conway, 2010).

### *Combustibles fósiles “limpios”*

En los últimos años, se ha hecho frecuente el lanzamiento de campañas de marketing por parte de empresas energéticas en las cuales el mensaje principal es de carácter ambiental o verde. Estos anuncios han sido ampliamente evaluados por parte de grupos ambientalistas con el fin de identificar transparencia, rigurosidad y certeza en la información. Sin embargo, se ha encontrado que este tipo de campañas frecuentemente no cumplen con estas características y son acusadas de realizar actividades de lavado verde o *greenwashing*, que se definen como aquellas actividades que las empresas realizan para dar la impresión de estar tomando las medidas necesarias para disminuir o eliminar su huella de carbono (Uribe-Saldarriaga, 2014).

Muchas empresas energéticas, como parte de sus compromisos ambientales, han promocionado campañas para promocionar con diferentes mensajes su aporte al medio ambiente, el cuidado del planeta y el mejoramiento del aire. Uno de los anuncios más criticados por parte de grupos ambientalistas ha sido el desarrollo y promoción de combustibles fósiles con la característica de ser “limpios”.

Por un lado, las empresas petroleras como *Royal Dutch Shell*, BP, e incluso, el gobierno de Canadá, y Estados Unidos, entre otros países productores de carbón, han difundido el progreso obtenido en sus proyectos de carbón limpio. Este conjunto de tecnologías se ha centrado en la eficiencia del ciclo de generación de energía y en la reducción de emisiones contaminantes, distintas al CO<sub>2</sub> (CANMET, 2008), mediante la implementación de plantas que pueden operar a temperaturas y presiones mucho más altas que las convencionales, de esta manera obteniendo mayores eficiencias con una menor cantidad de carbón (SUEF, 2007). También, a través de procesos de limpieza del carbón se elimina gran parte de la materia mineral intermitente, ayudando a reducir costos y la cantidad de cenizas producidas, y alargando la vida operativa de las instalaciones (CANMET, 2008). El inconveniente de este desarrollo se halla en que tan solo ayuda a eliminar o prevenir la formación de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas (Philibert, Podkanski y IEA, 2005), mientras que otros GEI con mayor importancia y riesgo asociado, se siguen emitiendo en la misma cantidad.

Otro ejemplo de ello se presentó en 2010, cuando la petrolera colombiana Ecopetrol lanzó al mercado un combustible diésel con un contenido ultra bajo de azufre (50 ppm), lo que llevó a denominarlo “diésel limpio”. De manera similar al carbón, una mejora en las emisiones de azufre y otros compuestos orgánicos volátiles no cambian el hecho de que siga siendo un combustible fósil, y, por ende, continúa generando las mismas emisiones de CO<sub>2</sub> de siempre. Además, el combustible

diésel, aun teniendo un contenido ultra bajo de azufre, contaminan el ambiente con otros compuestos químicos como el benceno, tolueno, entre otros (Uribe-Saldarriaga, 2014).

Como ejemplo final, el gas natural ha experimentado un auge en el mercado, principalmente debido a la creciente producción de shale gas en Estados Unidos, gracias a la implementación del fracturamiento hidráulico y de pozos horizontales. Alrededor del mundo, muchos gobiernos y empresas eléctricas han adoptado este recurso como una alternativa más limpia que el carbón, por lo menos en términos de emisión de CO<sub>2</sub> (Shwartz, 2017). Sin embargo, existen diversos inconvenientes en torno a este combustible. Por un lado, el gas natural está compuesto 95% de metano, un agente contaminante 84 veces más potente que el CO<sub>2</sub>, por lo que su contribución al calentamiento global es mayor cuando se fuga (Solís, 2017). Por otro lado, las técnicas de extracción del shale gas requieren de grandes cantidades de agua y agentes químicos, como hidrocarburos y metales pesados, los cuales permanecen dentro de los yacimientos contaminando la formación y los acuíferos. Sin embargo, aún más preocupante y reprochable es el empleo masivo de un recurso como el agua, ya que un pozo de shale gas requiere de al menos 11.5 millones de litros de agua durante el proceso de fracturación (Stagno Canziani, 2015).

El problema en la promoción de este tipo de combustibles, por un lado, es el término absoluto utilizado. Los combustibles fósiles limpios no existen, y el uso de esta afirmación retrasa el desarrollo e implementación de tecnologías energéticas realmente limpias, al mismo tiempo que brindan una falsa seguridad al público en general (Uribe-Saldarriaga, 2014). Por otro lado, este tipo de medidas buscar mitigar los daños producidos en una sola etapa de la cadena de valor, mientras que, como se ha mencionado anteriormente, las externalidades negativas son producto de los procesos de extracción, procesamiento, almacenamiento, transporte y comercialización de los energéticos.

### *Voluntarismo*

Hasta ahora, los compromisos para la mitigación y adaptación al cambio climático se han llevado a cabo a través de Tratados o Acuerdos como los anteriormente descritos. Este tipo de mecanismos son considerados parte del Derecho Internacional Ambiental *soft law*, es decir, en ellos se establecen ambiciosas metas que no tienen fuerza obligatoria, siendo meramente declarativos o recomendatorios, por lo que han sido señalados como simplemente una declaración de buenas intenciones (Motles Esquenazi y Porte Barreaux, 2016). El conflicto entre este tipo de instrumentos se asocia a la constante rivalidad entre los conceptos de desarrollo económico y desarrollo

sustentable, sin embargo, ante la amenaza de la escala como la que presenta el cambio climático, el voluntarismo no puede ni debe reemplazar la acción efectiva del Estado (UNDP, 2008).

Si se realiza un análisis de las Conferencias, Declaraciones, Tratados y Acuerdos hasta ahora realizados es posible determinar que desde el comienzo del Derecho Internacional Ambiental se han optado por mecanismos de tipo *soft law*. En la Conferencia de Estocolmo (1972), no se estableció ninguna obligación concreta a los países participantes; por otro lado, en la Cumbre de la Tierra (1992), si bien se consolidó el concepto de desarrollo sostenible, no fue suficiente para fijar deberes específicos con el fin de enfrentar los problemas causados al medio ambiente (Motles Esquenazi y Porte Barreaux, 2016).

El Protocolo de Kioto es ejemplo de la misma situación, puesto que este acuerdo planteó objetivos concretos, claros y precisos respecto a cómo deberían de disminuir sus emisiones de GEI, principalmente por parte de los países desarrollados (Motles Esquenazi y Porte Barreaux, 2016). Pese a lo anterior, países con altos niveles de emisión, como Estados Unidos y Australia, no ratificaron el Protocolo, anteponiendo su estabilidad económica.

El Acuerdo de París no dista mucho de los casos anteriores; en primer lugar, en vez de establecer contribuciones obligatorias de reducción de emisiones, se plasmaron enunciados basados en promesas voluntarias a través de las NDC (Nava Escudero, 2016). Como segundo punto, no solo no incluye disposiciones obligatorias en materia de mitigación (Laguardia, 2020), tampoco lo hace en términos de adaptación, a pesar de tratarse de un tema inaplazable debido a la existencia de grupos sociales que ya padecen las consecuencias. Finalmente, el Acuerdo no establece bajo ninguna circunstancia sanciones a los países involucrados, es decir, las acciones quedan en manos de la voluntad política de los Estados que, por lo general, obedecen a factores e intereses económicos, políticos o ajenos al medio ambiente.

A pesar de lo poco vinculantes que han resultado los Tratados y Acuerdos internacionales, existen países que han adoptado iniciativas voluntarias como la reducción de la “intensidad de las emisiones de carbono” medida en términos de eficiencia o, diversas empresas que han fijado sus propias metas ambientales y han cambiado sus prácticas empresariales con el fin de alcanzarlas. No obstante, y sin la intención de restar importancia a la acción voluntaria del sector empresarial, el voluntarismo no está produciendo los resultados requeridos, pues no ha logrado bajar las emisiones globales ni de países desarrollados como Estados Unidos (Figura 3.5) (UNDP, 2008).

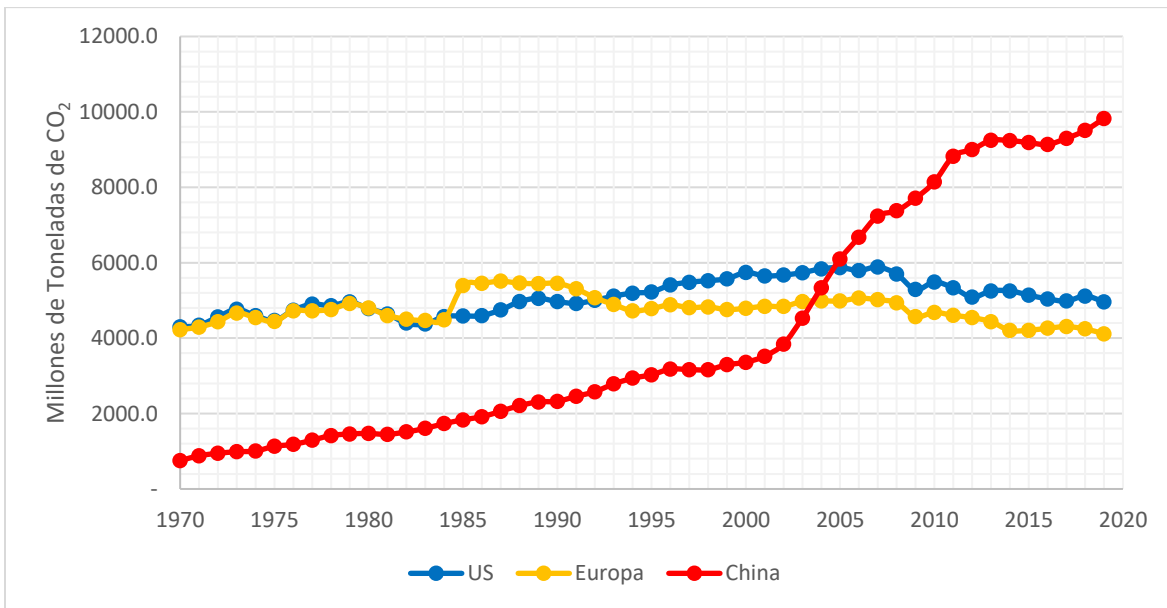
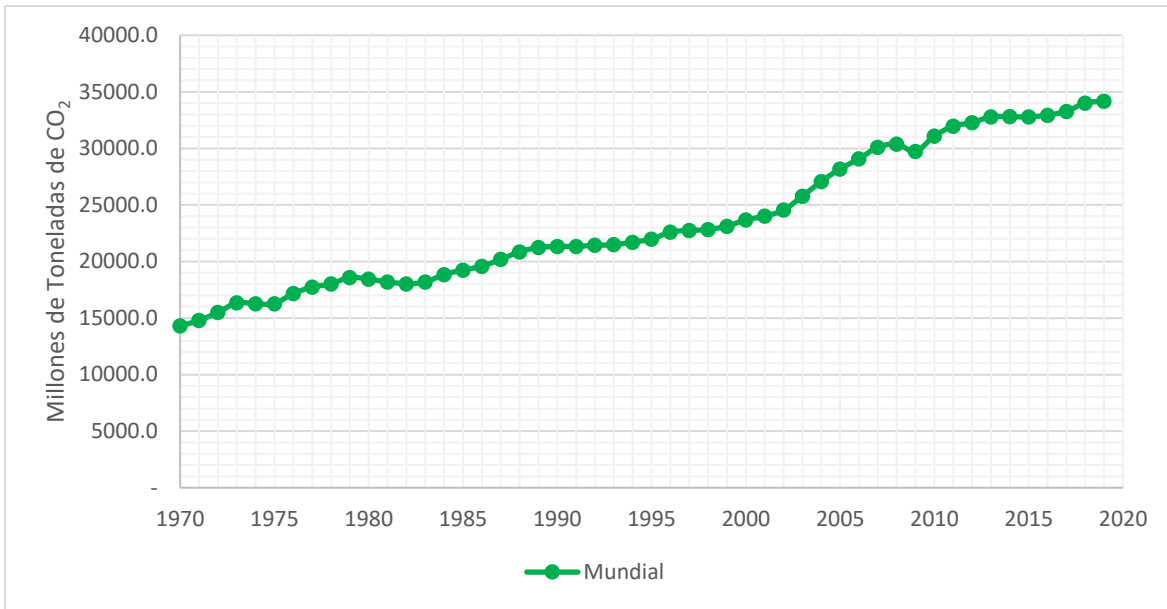


Figura 3.5. Histórico emisiones de CO<sub>2</sub>. Arriba. Mundial. Abajo. EU, China y Europa. Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical 2020.

Es preocupante que la respuesta a un problema de la magnitud del cambio climático esté en función de la voluntad política, el compromiso y la cooperación a nivel internacional, las cuales se han caracterizado por estar en relación directa con el poder y el control de los bienes comunes. Dejando así el problema ambiental como un problema de poder y control sobre la producción de los bienes naturales. De manera que, la mayoría de las resoluciones no serán más que promesas a menos que sean apoyadas por las potencias económicas y sus aliados (Laguardia, 2020). Sería recomendable en

lugar de adoptar medidas cortoplacistas propiciadas por el voluntarismo, implementar políticas de largo plazo basadas en expectativas realistas y alcanzables (Smil, 2014), y un sistema eficiente de monitoreo y control con la facultad de sancionar a quienes infrinjan con lo pactado.

### 3.4.2 Mercado del Gas Natural

Parte de la transición energética, como se ha mencionado anteriormente, es el gradual reemplazo de determinados energéticos por otros, ya sea por su daño ambiental o por la escasez de estos. Por lo tanto, y de acuerdo con la tendencia mundial, se prevé que las naciones industrializadas dependerán cada vez más del gas natural. Además de considerarse un combustible fósil menos dañino para el medio ambiente que el petróleo o el carbón, los volúmenes actuales de reservas en el mundo son un factor a su favor. Sin embargo, estas se encuentran concentradas en un número reducido de países productores, lo que representa un elemento clave en la geopolítica del gas natural, ya que los países que las poseen tienen cierta posición de fuerza sobre el flujo del gas e influencia sobre las fuerzas del mercado (Figura 3.6) (Klare, 2006).

Tal es el caso que existe entre la UE, Rusia y Estados Unidos (USA, en adelante). En los últimos años, la UE ha sido una especie de mercado preciado y motivo de conflicto entre los mayores exportadores de energía del mundo, en particular, de gas natural (RD Energía, 2019). Rusia ha sido durante mucho tiempo el mayor proveedor de gas del mercado europeo, sin embargo, tras la crisis entre Rusia y Ucrania en enero de 2014, que dejó sin abastecimiento de gas natural a Europa, la UE enfatizó la necesidad de encontrar rutas alternativas de abastecerse de este energético (Gutiérrez del Cid, 2010).

En tal sentido, se inició la construcción de los gasoductos *Nord Stream* y *South Stream* (de Rusia hacia Alemania) con el fin de asegurar el suministro de gas natural sin la necesidad de traspasar al territorio ucraniano. Sin embargo, estos gasoductos no proveen una alternativa al abastecimiento de gas ruso, por lo que el comercio internacional de gas natural licuado (LNG, por sus siglas en inglés) cobró relevancia, introduciendo nuevos proveedores y brindando a los importadores la oportunidad de diversificar las fuentes de suministro (De la Balze, 2012).

La diferencia entre el gas natural y el LNG se halla en su método de transporte. Mientras que el primero se envía a través de gasoductos, el LNG primero es transformado de su estado gaseoso a un elemento líquido mediante la aplicación de temperaturas extremadamente bajas, transportado en barco, para luego ser re-transformado en gas elevando la temperatura de este en plantas de

regasificación en el país de destino (Klare, 2006). Este es un proceso muy costoso y que emplea mucha energía, lo cual le otorga a Rusia una ventaja en términos de costos de transporte más baratos e infraestructura y suministro establecidos (RD Energía, 2019).

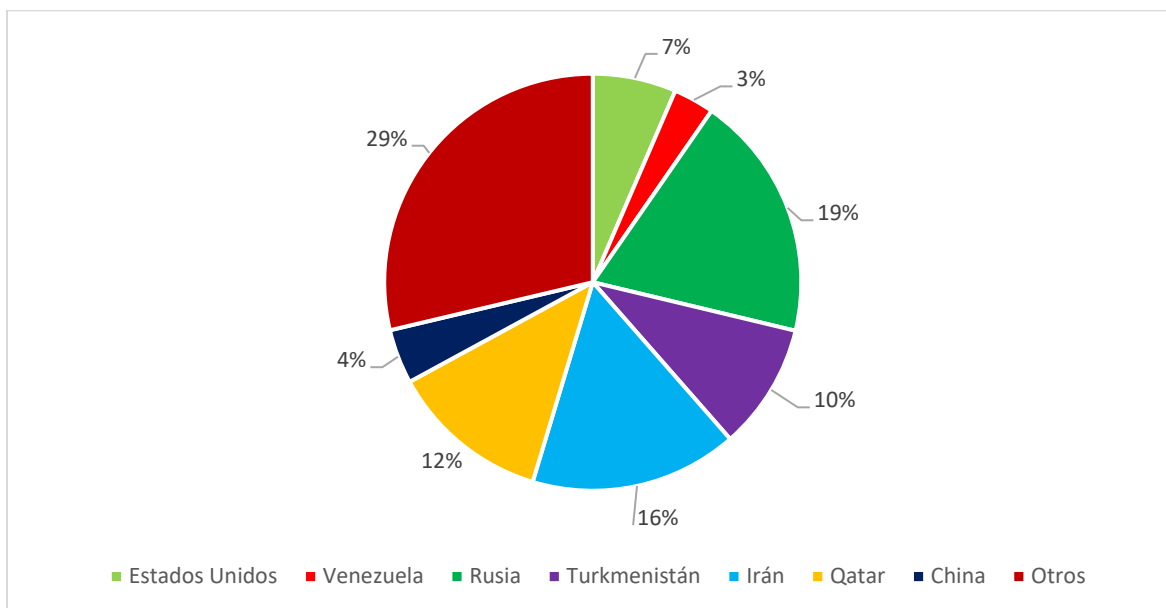


Figura 3.6. Concentración de Reservas de gas natural en el mundo. Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical.

A pesar de los costos más altos que este combustible representa, la respuesta por parte de la UE fue tratar de reducir su dependencia energética con respecto a Rusia en un 20%, por lo que se comenzó la construcción de puntos alternativos de regasificación para importar LNG, principalmente de Estados Unidos (Gutiérrez del Cid, 2010).

Europa comenzó a comprar mucho más gas natural estadounidense, importando aproximadamente 8,000 millones de metros cúbicos de LNG desde julio de 2018 hasta mayo de 2019, más de tres veces la cantidad comprada en los dos años anteriores. Con ello se reducía su dependencia hacia la energía rusa y se buscaba sosegar al ahora expresidente Donald Trump, quien aplicó aranceles al acero y aluminio proveniente de la UE, y amenazaba con nuevos impuestos sobre los automóviles fabricados en el bloque (Expansión, 2019).

A pesar del esfuerzo, en 2018 *Gazprom*, la mayor compañía de gas rusa, suministró a la UE más del 40% de sus importaciones de gas natural. Además, con el proyecto de extensión de los gasoductos *Nord Stream 2* y *Turk Stream*, se fortaleció la posición rusa respecto al flujo de los energético en Europa. En respuesta a estos proyectos, en diciembre de 2019, Donald Trump impuso sanciones

contra ambos ductos, calificando el proyecto como una “herramienta de coerción” y riesgo para la seguridad energética europea (Sputnik Mundo, 2020). Con ambos proyectos, se busca unir a Rusia con Turquía, Alemania, y Europa Central y del Este; se reduce el temor a que se repita la crisis en el suministro de gas de años anteriores y, además, se reafirma a Rusia como su principal proveedor de energía. Cabe señalar la participación de China en la distribución del gas mediante la construcción del gasoducto *Siberia Power*, el cual está planeado para suministrar 38 mil millones de metros cúbicos de gas ruso al norte de China desde Siberia y está firmado por tres décadas. En otras palabras, Rusia hace sus propias alianzas estratégicas tanto en energía como en política, muy a pesar de Estados Unidos y su sobreproducción de shale gas.

Adicionalmente, durante el año 2020 el LNG estadounidense se volvió demasiado caro para los compradores extranjeros, debido a la disminución de la producción en USA, causada tanto por la caída de las cotizaciones del año pasado, como por la crisis actual por la pandemia del COVID-19. Por lo tanto, la mayoría de las empresas europeas están renunciando a los suministros del LNG; ahora resulta más rentable pagar por los contratos del servicio de licuefacción del gas y rechazar el suministro (Sputnik Mundo, 2021).

A pesar de las críticas e intentos de USA por detener y sancionar el megaproyecto energético entre Rusia, Alemania y otros países europeos, el gasoducto *Nord Stream 2* actualmente se encuentra al 94% de su construcción. Aunque se considera un plan comercial que contribuirá a la seguridad y diversificación energética de Europa, no cabe duda de que a su vez aumentará considerablemente la dependencia energética de la UE hacia Rusia.

Ahora bien, bajo este contexto y retomando el objetivo de la transición energética por sobrevivencia planetaria, la inversión en semejantes proyectos, ya sean gasoductos o plantas de regasificación, contempla el uso masivo de gas natural durante un largo periodo de tiempo. Sin embargo, es importante considerar que, a pesar de que el gas es considerado un combustible más “limpio” que el petróleo o el carbón, continúa teniendo efectos negativos sobre el medio ambiente como se ha mencionado anteriormente, por lo que no debería ser considerado una solución al cambio climático en el largo plazo. De manera similar al Movimiento Negacionista, es evidente la prioridad por los intereses propios, tanto económicos como energéticos, y la falta de vinculación a los problemas relacionados con el medio ambiente.



### RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3

La crisis ambiental, la influencia de la energía sobre esta, el cambio climático y sus consecuencias no son un asunto moderno, y los documentos anteriormente enunciados lo demuestran. Mediante formas y métodos diferentes, expertos en la materia advertían de la grave situación que se avecinaba desde la década de los años setenta. A través de los escenarios presentados en el informe *Los Límites del Crecimiento*, el equipo de expertos liderado por el profesor Meadows, indicaban que, de seguir con las tendencias de consumo y crecimiento de aquellos años, se corría el riesgo de agotar los recursos y de alcanzar el límite del crecimiento humano en un periodo máximo de 100 años. Con estos resultados se buscaba exhortar a gobernantes y a la población en general a generar un cambio y desviar la tendencia hacia escenarios más equilibrados, moderados y óptimos para las generaciones futuras.

Casi de manera simultánea, se llevaba a cabo la primera Cumbre de la Tierra organizada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo, Suecia. En ella se buscó concientizar a las naciones respecto a la influencia de la actividad humana sobre el entorno y los problemas ambientales, y proporcionar directrices para proteger, remediar y prevenir el deterioro del medio ambiente. Con un objetivo similar, 15 años más tarde, se publicó el *Informe Brundtland*, el cual se enfocó en dar a conocer la urgente necesidad de actuar para mitigar la degradación del entorno y el incremento de la pobreza; y en él se expresaron las preocupaciones, tareas y esfuerzos comunes entre naciones. Asimismo, el Informe destacó por la introducción oficial del concepto de desarrollo sustentable, el cual contempla asegurar las necesidades del presente sin tener que vulnerar la capacidad de las futuras generaciones para cubrir las propias.

Tomando como antecedente los Informes y la Cumbre de Estocolmo, en 1992, se llevó a cabo la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil. Esta reunión se caracterizó por establecer formas y métodos no solo para preservar el medio ambiente, sino también para asegurar el crecimiento económico de todos los pueblos; dicho en otras palabras, se instauró como principal objetivo lograr el desarrollo sustentable. Por otra parte, el IPCC desde 1990 ha realizado evaluaciones y reportes en los cuales determinan los impactos del cambio climático sobre la sociedad y el medio ambiente, así mismo, han servido de apoyo para la realización de políticas relacionadas con el clima. Mediante estos informes se ha afirmado la influencia humana en el sistema climático, los altos niveles de emisiones antropogénicas y la necesidad urgente de actuar.

Estos Informes o eventos han buscado comunicar, advertir y prevenir por distintos medios tanto a la sociedad científica como a los tomadores de decisiones sobre el grave problema que el cambio climático representa. Cada uno de ellos ha recibido críticas y ataques con el fin de desacreditarlos, sin embargo, creo que la situación ya no debería ser una cuestión de opinión sino un problema verdadero y de gran urgencia, ya que no solo se trata de una crisis ambiental o humana en general, sino también una crisis de la existencia de nuestra especie, cuyos efectos son irreversibles, graves y desiguales, por lo que sólo quienes tengan los recursos tendrán la capacidad de adaptarse.

Tras detectar el problema, el siguiente paso se dirige hacia la identificación de sus causas y consecuencias. El crecimiento desmedido de algunas naciones es el motivo principal del cambio climático, el cual está directamente relacionado con el uso masivo de la energía. El aprovechamiento de esta tiene efectos tanto positivos como negativos sobre la sociedad, la economía y el ambiente, en cada una de las etapas de su cadena de valor. Por practicidad y en torno al enfoque de la investigación, únicamente se evalúan las externalidades negativas.

De los combustibles fósiles, el carbón es el más contaminante; desde su minería que destruye el suelo, la vegetación y los cuerpos de agua que se encuentran a su alrededor, hasta la quema del combustible para la generación de energía eléctrica, calor o usos domésticos, donde se liberan grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, metales pesados, entre otros residuos tóxicos para los humanos y el medio ambiente. De forma similar al carbón, la extracción del crudo y gas natural puede provocar daños a los ecosistemas cercanos, y durante los procesos de refinación y, más tarde, en la combustión se liberan importantes cantidades de CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, amoníaco, metales, y otros componentes tóxicos.

Aunque al uso de los combustibles fósiles se atribuye en mayor medida el aceleramiento del cambio climático, los demás tipos de energía también contribuyen a la degradación del medio y daño a la salud humana en distintas magnitudes. Por un lado, la energía nuclear se relaciona con la minería del uranio, cuyos procesos tienen un efecto negativo considerable sobre el suelo y el agua, así como, en el estado de la flora y fauna. Además, el tratamiento de los residuos nucleares continúa siendo un tema controversial, y poco definido e inseguro en el largo plazo. Por otro lado, y en menor medida, a las energías renovables también se asocian daños o efectos negativos: a la hidroeléctrica se imputan cambios en los ecosistemas e inundaciones; a la energía eólica se atribuyen muertes de aves, y contaminación visual y acústica; a la energía solar se relaciona con la utilización de metales

tóxicos para la elaboración de los paneles y a la gestión de desperdicios de estos; y el empleo de la biomasa pone en riesgo la seguridad alimentaria.

Es evidente que, en mayor o menor medida, de una forma u otra, el uso de la energía implica daños a la biosfera y a la salud humana, y en conjunto dan lugar a problemas aún más severos como el calentamiento global. Sin embargo, la energía, sea cual sea su procedencia, es fundamental e indispensable para el desarrollo económico y humano. En mi opinión, no es una cuestión de detener el uso de uno u otro tipo de energía de manera rotunda en el corto plazo, sino de mesura, eficiencia y empleo consciente y responsable de la energía, características que deben provenir tanto de parte de la oferta como de la demanda.

Ahora bien, entendiendo las implicaciones del problema, es necesario establecer las medidas a tomar para solventar o mitigar el daño. A través de los Programas relacionados con el medio ambiente pertenecientes a las Naciones Unidas se han elaborado diversos acuerdos de carácter internacional los cuales buscan dar solución a problemas en particular. Por un lado, en 1987 se redactó el Protocolo de Montreal, cuyo objetivo es la protección de la capa de ozono mediante el control de la producción y consumo de sustancias que la agotan. Su implementación es un caso de éxito ya que, además de promover la colaboración entre científicos con políticos, los objetivos del Protocolo se cumplieron eliminando más del 98% de las sustancias que agotan la capa de ozono y restableciéndola casi por completo. Por otro lado, en 1997 se aprobó el Protocolo de Kioto, el cual comprometía a los países industrializados a reducir las emisiones de GEI en un 5% sobre los niveles de 1990 entre los años 2008 y 2012. El Protocolo entró en vigor ocho años después de su aprobación, debido a un largo proceso de ratificación, en el cual países industrializados como Estados Unidos y Australia no ratificaron su participación debido a causas económicas; restándole importancia, ya que estos países son de los más contaminantes y su ratificación era relevante.

En 2015, durante la COP21 se firmó el Acuerdo de París con el objetivo de combatir y acelerar las acciones e inversiones para lograr un futuro sustentable y con bajas emisiones. Se estableció el objetivo de mantener la temperatura mundial por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales, mantener los esfuerzos para limitar el aumento a no más de 1.5°C. Los objetivos serían alcanzados a través de las NDC, es decir, líneas de acción voluntaria establecidas por cada país.

Entre otros intentos por mitigar el calentamiento global, en diversas partes del mundo se ha buscado promover la electrificación del transporte, debido a que dicho sector es responsable de

casi el 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo. Idealmente, los vehículos eléctricos debieran acompañarse por un sistema de generación eléctrica bajo en carbono para intensificar sus beneficios. El crecimiento ha tenido que ser impulsado por distintos tipos de subsidios e incentivos financieros tanto a consumidores como a la industria automotriz. Entre los países más adelantados en el tema, se encuentra China con 47% de la flota de VE en el mundo y países europeos, principalmente Noruega con 13% de VE en su stock.

Por otro lado, en las Universidades de Estados Unidos se comenzó un movimiento el cual busca la desinversión y deslegitimación del sector de los combustibles fósiles argumentando que no es un modelo de negocio lícito. Además, promueve el mercado del carbono y la inversión en energías limpias y renovables, en lugar de otorgar subsidios masivos a la industria fósil. Pese a ser un movimiento polémico por su ideología radical, hasta 2017 había movilizó compromisos de desinversión de aproximadamente \$5.53 billones de dólares. A su vez, empresas petroleras han iniciado una transición hacia un modelo de negocio diversificado a los distintos tipos de energía, tanto combustibles fósiles como energías renovables. Y, de manera similar, países caracterizados por basar su economía en un modelo meramente extractivo, tales como Arabia Saudita y China, han puesto en marcha proyectos de diversificación económica hacia sectores como salud, infraestructura, y turismo.

Entendiendo que gran parte de la crisis se debe al desarrollo extractivo e intensivo de algunos países, se ha propuesto la transición hacia una Economía Verde, la cual basa sus métodos de producción en un proceso integral e incluyente que considera variables ambientales y sociales, es bajo en carbono y utiliza sus recursos de manera eficiente. Un ejemplo destacable de Economía Verde en el mundo es Suecia, ya que, de manera general cumple con estas características y se ha desarrollado en los últimos años bajo un enfoque de descarbonización, de eficiencia energética, empleos verdes y justos, y la restauración ambiental.

Finalmente, el conjunto de medidas y acciones antes mencionadas puede (o debería) verse reflejado en una transición energética. Actualmente, el carbón y el petróleo continúan liderando la matriz energética mundial con una tendencia a la baja. El gas natural pareciera ser el combustible en crecimiento y una parte fundamental de la transición hacia energías más limpias. Por su parte, las energías renovables han superado a la nuclear y tasa promedio de crecimiento es de casi 13%, sin embargo, su despliegue aún no es lo suficientemente significativo como para reemplazar algún tipo de combustible fósil.

Dadas las circunstancias, considero importante cuestionar si han sido suficientes las aportaciones de las estrategias elegidas. Por una parte, los Acuerdos Internacionales, pese a fijar objetivos claros, dejaron al criterio y voluntad de cada país las acciones a tomar. Además, no ejecutan ningún tipo de sistema de verificación, control y/o sanción para las naciones que incumplan con lo acordado. Por lo que los resultados son casi inexistentes. En mi opinión, consideraría adecuado que un tercero fijara los objetivos ambientales y energéticos de cada país con base en su desarrollo económico, recursos, potencial, entre otras variables, pero con la seguridad de establecer metas alcanzables, significativas y verificables, tanto en el corto como largo plazo, y bajo un criterio objetivo y justo.

Por otra parte, no creo que una solución al problema sea cortar de forma radical el uso de combustibles fósiles; tanto si nos gusta como no, estos seguirán siendo parte del sistema energético durante las próximas décadas. Sin embargo, sería irresponsable continuar como si nada ocurriera. En lugar de un escenario sin combustibles fósiles, es necesario un enfoque más diversificado el cual promueva el amplio uso de los recursos disponibles, es decir, mediante la eficiencia energética, el despliegue de las energías renovables, el uso sostenible de los combustibles fósiles, y el desarrollo de la tecnología e infraestructura necesaria para soportar tales cambios.

Adicionalmente a las deficiencias propias de las estrategias propuestas existen actores que se resisten al cambio y limitan su alcance. Tal es el caso del movimiento negacionista que surgió a partir de los Informes de Evaluación emitidos por el IPCC. Su objetivo ha sido rechazar la evidencia del cambio ambiental y la influencia de las actividades humanas sobre este, consiguiendo así provocar dudas y postergar las acciones que pudieran generar un cambio. Ante la vasta evidencia científica, el movimiento ha dejado de negar el fenómeno, pero argumentan que las acciones para mitigarlo son económicamente destructivas y ambientalmente insignificantes.

El movimiento negacionista se encuentra financiado en gran parte por las empresas petroleras, las cuales buscan proteger sus intereses particulares. Incluso, se han publicado diversos informes que señalan la influencia que tiene la industria de los combustibles fósiles sobre los procesos legislativos y marcos regulatorios; dicho en otras palabras, se ha revelado que la industria invierte altas sumas de dinero en campañas electorales en Estados Unidos, con el fin de elegir políticos que impulsen la regulación necesaria en beneficio de las empresas.

Existen otro tipo de medidas que en apariencia se encuentran lidiando con el problema, pero la realidad es muy diferente. Ejemplo de ello son las campañas que han buscado promocionar combustibles fósiles “limpios” como el diésel verde en Colombia o el gas natural en Estados Unidos.

Primero, es importante recalcar que los combustibles fósiles limpios no existen, ya que todos tienen repercusiones sobre el medio ambiente y la salud en alguna etapa de su cadena de valor. Por un lado, el caso del diésel limpio se trata de un combustible con un contenido ultra bajo de azufre, sin embargo, sus emisiones de CO<sub>2</sub> siguen siendo las mismas. Por otro lado, aunque el gas natural es un combustible más limpio comparado con el petróleo y el carbón, no deja de liberar emisiones de GEI, así como de implicar importantes daños al ambiente debido a sus técnicas de explotación, las cuales requieren de grandes volúmenes de agua y químicos contaminantes.

Vale la pena precisar que el gas natural ha cobrado tanta importancia dentro de la transición energética, que se ha considerado un reemplazo del carbón y el petróleo. Por ende, se ha establecido un mercado internacional para este recurso, en el cual los participantes han empleado diversas estrategias para asegurar el suministro y venta del gas. En el mercado destaca la participación de Rusia, Estados Unidos y la UE; siendo los primeros de las naciones con mayores reservas de gas natural en el mundo, y el último una clase de mercadopreciado. En los últimos años, la UE ha tratado de asegurar su suministro de gas natural mediante la diversificación de los proveedores de este. De esta forma, llegó a establecer relaciones estratégicas con Estados Unidos para cubrir una parte de su demanda, sin embargo, los costos de transporte y de regasificación han obligado a la región europea a seguir dependiendo del gas natural ruso, a tal punto, que se encuentra en construcción un importante gasoducto que unirá Rusia con Alemania, Europa Central y del Este. Bajo un contexto de transición energética por sobrevivencia planetaria, el gas natural no debiera considerarse como un reemplazo del carbón o del petróleo, y mucho menos, una clase de solución al calentamiento global.

A través de esta última sección, queda claro que la transición energética está liderada por los intereses particulares de la industria de los combustibles fósiles y del “libre” comercio, el cual no conoce límites. Sin embargo, mientras esto ocurre, la ventana de oportunidad para lograr verdaderos cambios se reduce con rapidez, sobre todo si consideramos que desplegar valores individuales y en las políticas públicas y empresariales requiere de largos periodos de tiempo. Es decir, cuanto más se tarden en asumir responsabilidades y compromisos alcanzables, menores serán los recursos para lograrlos y las oportunidades de bienestar para las generaciones futuras.

La transición energética es una tarea monumental y urgente, y para llevarla a cabo de manera eficaz considero necesario el cambio hacia un sistema de energía sostenible el cual ofrezca medidas de eficiencia energética desde la extracción hasta el uso del combustible, la diversificación de las

fuentes de energía, la reducción del consumo global, la corrección de las deficiencias del mercado, la revisión y reforma tanto de políticas como de sectores enteros, y además, una reestructuración del sistema económico y su obsesión por el crecimiento. Opino que la transición, además de energética, debe ser un proceso de justicia para aquellas naciones que no han podido desarrollarse y que actualmente son los más vulnerables a los efectos de esta crisis.

## CAPÍTULO 4. ¿CUÁL ES EL ESTADO ACTUAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO?

---

Los factores que dan origen a la transición energética son múltiples. Para el caso de México, se destaca como parte de las acciones preventivas y de mitigación al cambio climático, medida en contra del declive de los recursos naturales no renovables, así como producto del avance tecnológico hacia un sistema energético de mayor eficiencia. Durante décadas, el país centró la oferta interna de energía primaria en el petróleo, el gas natural y otros combustibles. Sin embargo, la producción y los volúmenes de reservas petroleras han caído consecuentemente, a tal punto de generar una severa crisis energética en el sector.

La producción de hidrocarburos dista de cubrir las necesidades crecientes del mercado nacional, por lo que la demanda es cubierta a través de importaciones, mismas que demandan dificultades de pago, de logística, de disponibilidad de infraestructura y de estrategia geopolítica. La disparidad entre la declinación de la producción y las reservas de hidrocarburos frente a la creciente demanda de energéticos y de electricidad es insostenible.

A pesar de las desequilibradas tendencias, el país no cuenta aún con una estrategia energética de largo plazo, que permita ubicar el alcance de las leyes, planes y programas encaminados a superar la grave crisis del sector. Esta carencia es preocupante ya que las decisiones en materia energética son de larga maduración, implican inversiones significativas y son vulnerables al entorno económico cambiante; por tanto, mientras más tiempo se continúen postergando las acciones necesarias, más complicado será garantizar el cumplimiento de los objetivos nacionales e internacionales.

Sería arriesgado basar la política de desarrollo del país en la incertidumbre de explotar recursos no renovables, especialmente cuando las consecuencias ambientales son bien conocidas y la transición energética marcha en sentido contrario. Es probable que pudiera haber una recuperación modesta en la producción nacional de hidrocarburos, sin embargo, es impostergable la necesidad de desarrollar y fortalecer las políticas públicas, los compromisos nacionales e internacionales y, en general, madurar las condiciones para el despliegue de un sistema energético diversificado y bajo en carbono.

Con el fin de conciliar los objetivos de seguridad energética, sustentabilidad y desarrollo económico, es necesario examinar el progreso actual de la transición energética en México, analizar la evolución de las políticas públicas, las tendencias de consumo, las prioridades gubernamentales, los avances y retrocesos, la prospectiva actual y la probabilidad de conseguirla a través de las medidas hasta



ahora planteadas. El contenido de este capítulo se dispone de tres secciones: en primer lugar, se hace un análisis a las políticas energéticas desde la década de los años setenta, las tendencias de consumo, los primeros indicios de la transición energética y las circunstancias que concluyeron en el sistema energético actual basado principalmente en el gas natural; posteriormente, se desarrolla una breve revisión a los instrumentos jurídicos y de planeación que se han implementado en el país con el objetivo de impulsar la transición energética y las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, así como los acuerdos internacionales que México ha ratificado en materia ambiental; y finalmente, con base en las secciones anteriores, se evalúa la situación actual del país, se busca responder si las acciones hasta ahora propuestas han sido suficientes para alcanzar los objetivos nacionales y se identifican las disparidades entre la política energética y la política ambiental actual.

#### 4.1 ¿CUÁL HA SIDO LA TENTATIVA DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

Describir los intentos de transición energética en México es explicar la tendencia a consumir cada vez más energía y la creciente dependencia de la economía nacional de los hidrocarburos. Una de las razones principales parece ser la celeridad con la que se pretendió crecer e industrializar al país en el periodo de auge, a partir, de la extracción masiva de petróleo y del mantenimiento de bajos precios internos de los energéticos (Guzmán, Yúñez-Naude y Wionczeck, 1985).

##### 4.1.1 Años 70: Hacia la autosuficiencia

La administración del expresidente Luis Echeverría Álvarez se caracterizó por plantear una política energética la cual comprendió tres puntos fundamentales: generar internamente los recursos económicos necesarios para el fortalecimiento de la industria petrolera mexicana y satisfacer la demanda de energéticos; incrementar la generación de energía eléctrica y diversificar las fuentes de energía; y garantizar la expansión industrial del país, así como, el apoyo a otros sectores económicos (Castillo Tejero, 1974). Tales objetivos parecían sentar las bases de un cambio en el sistema energético nacional, sin embargo, las abundantes reservas de hidrocarburos descubiertas a principios de la década hicieron de estos el energético más importante en el consumo nacional (Guzmán et al., 1985).

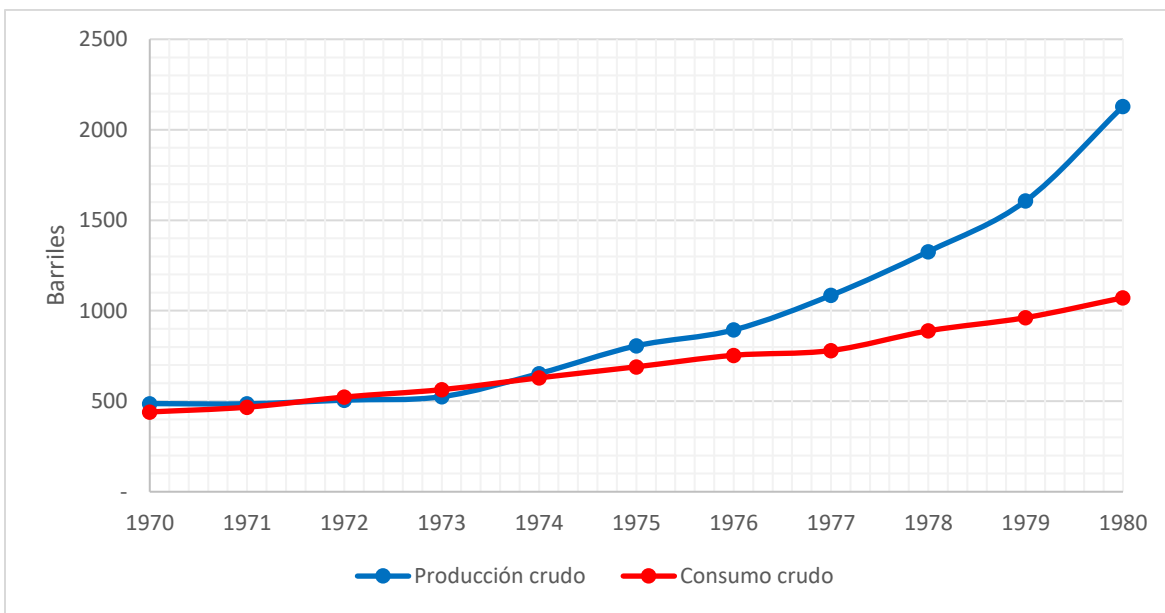


Figura 4.1. Consumo y producción nacional de crudo en el periodo de 1970-1980. Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical 2020.

El consumo final de petróleo y electricidad creció a un ritmo anual de 8.6% en los años setenta. Además, la celeridad con que se desarrolló la industria petrolera a partir de las medidas adoptadas por el gobierno en 1973 permitió recuperar la autosuficiencia petrolera (Morales, Escalante y Vargas, 1988). Con semejantes perspectivas (Figura 4.1), era posible no sólo cubrir las necesidades de abastecimiento interno, sino incluso se abría la posibilidad de exportar, principalmente tras los cambios en el mercado internacional recientemente acontecidos (la crisis energética de 1973, la creación de la IEA y la búsqueda de reservas estratégicas, Estados Unidos se declara un país importador, entre otros acontecimientos). A partir de entonces se iniciaría el debate sobre las posibilidades, conveniencias y consecuencias que traería para México el destinar parte de su producción hacia la exportación (Morales et al., 1988).

La necesidad del Estado de allegarse recursos financieros tanto para consolidar la base productiva de Petróleos Mexicanos (PEMEX), como para enfrentar la problemática económica por la que atravesaba el país fueron factores que pugnarían en favor de un incremento gradual de las exportaciones (Morales et al., 1988). Por lo tanto, la extracción masiva de petróleo fue consecuente, pues significaba la obtención de un excedente exportable y la posibilidad de seguir ofreciendo internamente la energía a precios subsidiados. El crecimiento sin precedentes de la demanda de petrolíferos y la política de satisfacerla, provocaron no sólo aceleramientos en el ritmo de producción en detrimento de la eficiencia, sino, además, el aumento desproporcionado en la

generación termoeléctrica y la postergación del aprovechamiento del potencial hidroeléctrico (Guzmán et al., 1985).

En consecuencia, durante esta década, el proceso de industrialización se llevó a cabo a ritmos relativamente altos y sostenidos, volviéndose más intenso a partir del uso de excedentes petroleros y el recurso al endeudamiento externo como fuentes de financiamiento. A esto se agregó una importante sustitución de métodos artesanales por mecanizados en unidades pequeñas y un aumento más que proporcional en las ventas de artículos de consumo duradero, como refrigeradores, televisores y automóviles, todos ellos consumidores de energía. Consecuentemente, la demanda de energía registró aumentos importantes (Guzmán et al., 1985).

Este proceso llevó a un uso inadecuado e ineficiente de la energía que afectó la conservación de los recursos del país e hicieron crecer la relación entre el consumo energético y el crecimiento de la producción de energía; por ejemplo, la quema de gas proveniente de la Sonda de Campeche por falta de equipo de procesamiento, la concentración de plantas termoeléctricas para satisfacer la demanda a corto plazo, y sobre todo, la falta de inversión en medidas de mejora y mantenimiento de equipos que brindaran ahorros de energía (Guzmán et al., 1985).

Hasta 1975, una de las principales preocupaciones de la Comisión Nacional de Energéticos era la de aumentar la eficiencia global de la industria petrolera para el abastecimiento energético del país, o en todo caso para limitar las importaciones debido a la crisis energética de 1973. Para fines del mismo año, la producción petrolera siguió aumentando, sin embargo, de acuerdo con PEMEX, el crecimiento no era el suficiente para justificar técnicamente un programa de exportaciones masivas. Se trató de persuadir al Ejecutivo para la elaboración de un plan que definiera un mejor uso de los recursos petroleros, basado en los objetivos y necesidades energéticas de largo plazo. Además, se señalaba que debían aplicarse estrictos criterios de conservación de recursos tanto en la producción como en el consumo, así como, darle prioridad a la exploración en búsqueda de nuevas reservas (Morales et al., 1988).

Sin embargo, con el crecimiento de las reservas de hidrocarburos, dichas preocupaciones fueron dejadas de lado en la práctica. Debido a la crisis financiera por la que atravesaba el país a fines de 1976, la política del régimen de José López Portillo (1976 – 1982) acudió al petróleo como uno de los pilares para obtener en el corto plazo las divisas necesarias para la expansión de la industria petrolera y en el largo plazo convertir a México en una potencia económica.

Inicialmente, un grupo de funcionarios y técnicos de PEMEX se oponía a tal medida, ya que, desde su punto de vista, significaba subordinar el desarrollo de la empresa a los problemas financieros por lo que atravesaba el país. En el documento conocido como la “Primera Propuesta de Lineamientos de Política Energética” a cargo de la Comisión Nacional de Energéticos se tenía como objetivo establecer las directrices del futuro desarrollo del sector energético. Por su parte, PEMEX defendía la explotación moderada y racional de los hidrocarburos; y por su lado, los funcionarios de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) veían en esta defensa la oportunidad de impulsar el proceso de diversificación energética, especialmente por la vía nuclear (Morales et al., 1988).

No obstante, en la primera mitad de 1976, ante el deterioro de la situación económica y política del país, PEMEX enfrentó una mayor presión por parte del Ejecutivo y de otras dependencias con el fin de incrementar notablemente los niveles de ventas al exterior (Morales et al., 1988). Posteriormente, tras la toma de posesión de José López Portillo, se nombró director de PEMEX a Jorge Díaz Serrano, quien contribuiría a diseñar una estrategia petrolera orientada a la exportación.

Entre las propuestas de Jorge Díaz Serrano, se destaca la construcción de un gasoducto que uniría los campos del sureste hacia la frontera norte, lo que representaba una contradicción para la estrategia de aprovechamiento del gas, misma que después fue descartada bajo el argumento de que ello requería un importante cambio en los patrones de consumo que hiciera posible la sustitución acelerada de gas licuado y combustibles por gas natural (Morales et al., 1988). Por lo que, sin mayor consulta interna, se inició la construcción del gasoducto tras la firma de una carta de intención entre PEMEX y seis compañías gaseras norteamericanas. Finalmente, la carta venció a fines de 1977 sin haber logrado ningún acuerdo, dejando ver que la propuesta de PEMEX respecto al programa petrolero carecía de ser un proyecto más amplio de industrialización y desarrollo económico y social (Morales et al., 1988).

#### **4.1.2 Años 80: Diversificación energética**

A pesar de los errores, las abundantes reservas de hidrocarburos le retribuyeron al país ingresos por exportaciones acumuladas de alrededor de 50 mil millones de dólares desde 1977 hasta principios de la década siguiente. Esta afortunada situación se revirtió a partir del tercer semestre de 1981, cuando después de casi 10 años, los precios internacionales de los hidrocarburos se redujeron (Gutiérrez Rodríguez, 1989a). Aunado a esta caída, el aumento de las tasas de interés internacionales, el recrudecimiento de la fuga de capitales, la inflación sin precedentes, la sobrevaluación del peso y la suspensión técnica del pago de amortizaciones de la deuda externa en

agosto de 1982, obligaron al gobierno de Miguel de la Madrid (1982-1988) a llevar a cabo una reformulación radical de la política económica, particularmente, de la política energética.

Durante la realización del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1983-1988, fue posible entrever la crítica posición que el gobierno saliente había otorgado al petróleo como “palanca de desarrollo” y, por ende, la gran dependencia de los hidrocarburos dentro del consumo de energía primaria del país. A pesar del crecimiento en consumo de energía en todos los niveles y sectores productivos, y la gran cantidad de recursos transferidos al exterior, esto no significó un impacto positivo en la economía nacional debido principalmente a los bajos precios que prevalecían en el sector energético.

El PND 1983-1988 destacó la incapacidad de la industria petrolera para erigirse como motor de la economía y en garantía del crecimiento económico de largo plazo (Gutiérrez Rodríguez, 1989a). Por lo tanto, se dispuso el imperativo de aprender a vivir con recursos limitados, sin dejar de cubrir el servicio de la deuda externa; por lo que se estableció el compromiso de impulsar las exportaciones manufactureras en lugar de los hidrocarburos.

Con estos antecedentes, en agosto de 1984 se emitió el Programa Nacional de Energéticos 1984-1988 (PRONE). En este documento se observaban cambios profundos en la planeación energética, entre los cuales destacaban la importancia de entender la naturaleza no renovable de las reservas de hidrocarburos y, por lo tanto, surge la necesidad de la diversificación en la generación de electricidad, principalmente hacia la hidroenergía, geotermia, el carbón y, en menor medida, la energía nuclear; así mismo, se reconoce la necesidad de poner en marcha medidas concretas para fomentar el ahorro y uso eficiente de energéticos, así como para aumentar la productividad en las empresas del sector.

Tras establecer estos objetivos, México dejó de exportar gas a Estados Unidos en 1984, a pesar de las grandes inversiones realizadas anteriormente para construir el gasoducto Cactus – Reynosa. Sin embargo, se avanzó en el proceso de conversión de la planta industrial nacional con el objeto de reducir el consumo de combustóleo, logrando así que el gas natural representara casi el 45% del consumo total de energía en el sector industrial para finales de la década (Gutiérrez Rodríguez, 1989b).

Por otro lado, en materia de diversificación, los logros obtenidos no fueron los propuestos en el PRONE, ya que la capacidad instalada de plantas termoeléctricas superó a la cifra propuesta,

alcanzando el 62.5% a lo largo del sexenio, lo que quiere decir que se optó por el camino más asequible ante la alta disponibilidad interna de hidrocarburos (Gutiérrez Rodríguez, 1989b). La diversificación energética tuvo un mayor alcance en los últimos años de la década, al estabilizarse la participación de las plantas operadas a base de hidrocarburos en la generación total de energía, y alcanzar una mayor contribución a la generación de energía eléctrica por parte de la energía hidroeléctrica (29.8%), del carbón (3.2%) y, de forma incipiente, la geotermia (2.8%); de esta forma, las energías alternativas representaron un 49% (hidroeléctrica, carboeléctrica y geotérmica) en el incremento de la capacidad de generación de energía (Figura 4.2) (Gutiérrez Rodríguez, 1989a).

Respecto a la energía nuclear, durante los años setenta, esta se había presentado como estratégica para enfrentar la crisis energética y la dependencia de los combustibles fósiles. En 1972 se acordó la construcción de la primera central nucleoelectrica, sin embargo, el proceso se extendió más de lo previsto debido a obstáculos de diversa índole, tales como: económicos, debido al largo periodo de maduración de la inversión y el costo financiero del desarrollo del proyecto; y tecnológicos, a causa de la falta de tecnología para enriquecer el uranio, lo que obliga a enviarlo a otros países (Gutiérrez Rodríguez, 1989b). Asimismo, tras el accidente nuclear de Chernóbil en 1986, en consonancia con una creciente preocupación por la cuestión ambiental en México y América Latina, en el país se consolidó una resistencia al desarrollo nuclear que ha perdurado hasta la actualidad (Piaz, 2020). A pesar de los movimientos antinucleares que surgieron desde finales de los años setenta, se puso en marcha el primer reactor de potencia en abril de 1989 y cinco años más tarde inició la operación de la segunda unidad en la misma central, dejando desde entonces estancado el desarrollo del programa nuclear en México.

En materia de ahorro y eficiencia energética, dentro de cada sector se tuvieron distintos avances o retrocesos. El sector energético se caracterizó por el alto autoconsumo de energía, principalmente por parte de PEMEX, debido a su rápido crecimiento y por sus intensivos procesos. Además, desde la década de los setenta, las inversiones se habían dirigido a incrementar la capacidad exportadora en lugar de adecuar y hacer eficiente la planta industrial (Gutiérrez Rodríguez, 1989b). Por su parte, el mayor ahorro generado por el sector transporte fue debido al alza en los precios de las gasolinas y el diésel, lo que provocó una caída en el consumo de estos combustibles; además, se estableció una nueva legislación en 1981 la cual establecía un aumento en el rendimiento de combustible para los automóviles a la que habrían de sujetarse los productores de automotores (Gutiérrez Rodríguez, 1989b).

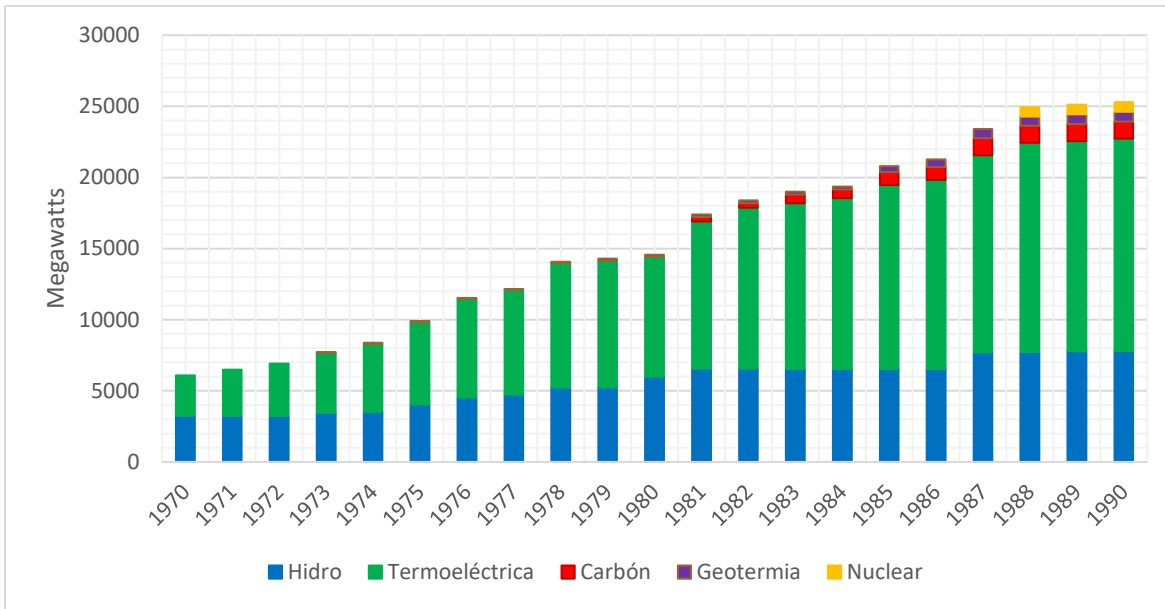


Figura 4.2. Capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional (1970-1990) Fuente: Elaboración propia con datos de Gutiérrez Rodríguez, 1989a y SEMARNAT, 2012a.

Debido a la protección brindada al sector industrial por su importancia para el desarrollo económico del país, se provocó un retraso en el despliegue de medidas de eficiencia energética. No obstante, fue uno de los más diversificados dentro de la rama de los hidrocarburos; una de las formas en que se forzó esta sustitución fue a través de la reducción de la oferta del combustóleo e incrementando el consumo de gas natural mediante precios subsidiados y un sistema troncal adecuado (Gutiérrez Rodríguez, 1989b).

#### 4.1.3 Años 90: Transición hacia el gas natural

A partir de la administración de Carlos Salinas de Gortari (1988-1994) los objetivos del plan energético cambiaron drásticamente. El propósito del gobierno en turno era introducir el sector eléctrico al modelo de economía abierta (Vargas Larios, 1999). De esta manera, se migró de alcanzar objetivos volumétricos a la maximización del beneficio económico; la seguridad energética cedió ante mayores intercambios comerciales con el exterior y; por último, la protección ambiental se priorizó a un nivel nacional. Bajo este marco, se definieron los cambios en la industria eléctrica en tres ejes: reforma tarifaria, reestructuración de la CFE y de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLFC), y la apertura de espacios al sector privado (Vargas Larios, 1999).

La negociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) fue la oportunidad para iniciar la desregulación y liberalización de la industria eléctrica, hasta entonces cerrada y protegida.

Entre los acuerdos alcanzados se estableció que las empresas estadounidenses y canadienses podrían en México adquirir, establecer u operar plantas de generación de tres tipos: para autoabastecimiento, para aprovechar el calor en los procesos industriales (cogeneración) y para vender toda la electricidad producida a CFE (producción independiente) (Rodríguez-Padilla, 1999).

Para confirmar lo pactado en el TLCAN, en 1992 se llevó a cabo una reforma legal al sector energético; en esta se modificó la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) para precisar cuáles actividades quedarían a cargo del Estado y cuáles estarían dentro de la competencia de los particulares. De esta manera, se estableció que los particulares pueden realizar actividades de autoabastecimiento de energía eléctrica para satisfacer las necesidades propias de personas físicas o morales; cogeneración; producción independiente, lo cual permite a capitales privados desarrollar, construir, poseer, operar y mantener centrales de generación eléctrica para destinarla totalmente a la venta a CFE; pequeña producción, con la cual se buscaba fomentar el desarrollo de proyectos basados en fuentes renovables de energía; exportación e importación de energía eléctrica (Rodríguez González Valadez, 2017).

Hasta 1995, PEMEX era la única entidad autorizada para construir, operar y ser propietaria de gasoductos en México, con facultades para importar, exportar y comercializar gas natural en territorio nacional (Rodríguez González Valadez, 2017). Sin embargo, con el fin de modernizar la situación de esta industria e impulsar una política de aprovechamiento de gas natural, el gobierno mexicano, encabezado por el entonces presidente Ernesto Zedillo (1994-2000), planteó una reforma estructural para expandir la infraestructura de gasoductos y acelerar el desarrollo económico del país.

Para ello, se reformó la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, se expidió el Reglamento de Gas Natural y se inició la conformación de un nuevo marco jurídico que comprendió la expedición de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía. Así, se abrieron a la participación privada las actividades de almacenamiento, transporte y distribución de gas natural por medio de ductos, que antes estaban reservadas sólo al Estado a través de PEMEX, así como las actividades de comercio exterior y la comercialización de este combustible en territorio nacional (Rodríguez González Valadez, 2017).

Las reformas legales en el sector eléctrico (1992) y en la industria del gas natural (1995) conformaron un nuevo marco jurídico cuyo contenido hizo posible la gasificación del sector eléctrico a partir de la privatización de las centrales de generación, en sus distintas modalidades. El proceso ocurrió con



mayor fuerza en regiones como el noreste de México, donde se instalaron la mayor parte de las centrales de ciclo combinado (GeoComunes, 2016).

Desde entonces el gas natural cobró una importancia fundamental en el desarrollo económico del país a tal grado que para 2015, más del 50% de la electricidad que se generaba para abastecer la demanda nacional era a partir de plantas de ciclo combinado de gas natural (Figura 4.3) (GeoComunes, 2016). Para el mismo año, las centrales eléctricas públicas aportaron 55.4% del total de la generación eléctrica, los productores independientes de energía 29.2%, mientras que la autogeneración de electricidad participó con 15.4% (SENER, 2015).

En los últimos quince años (2000-2015), la capacidad instalada del SEN creció a una tasa promedio anual del 2.81%, desarrollo basado fundamentalmente en la construcción de centrales de ciclo combinado, cuyo combustible se basa en el gas natural; alcanzando un ritmo de crecimiento anual de 17.61% en el mismo periodo. De manera similar, pero en menor medida, la capacidad de las centrales carboeléctricas e hidroeléctricas pasó de 2,600 MW a 5,378 MW y de 9,619 MW a 12,092 MW, respectivamente.

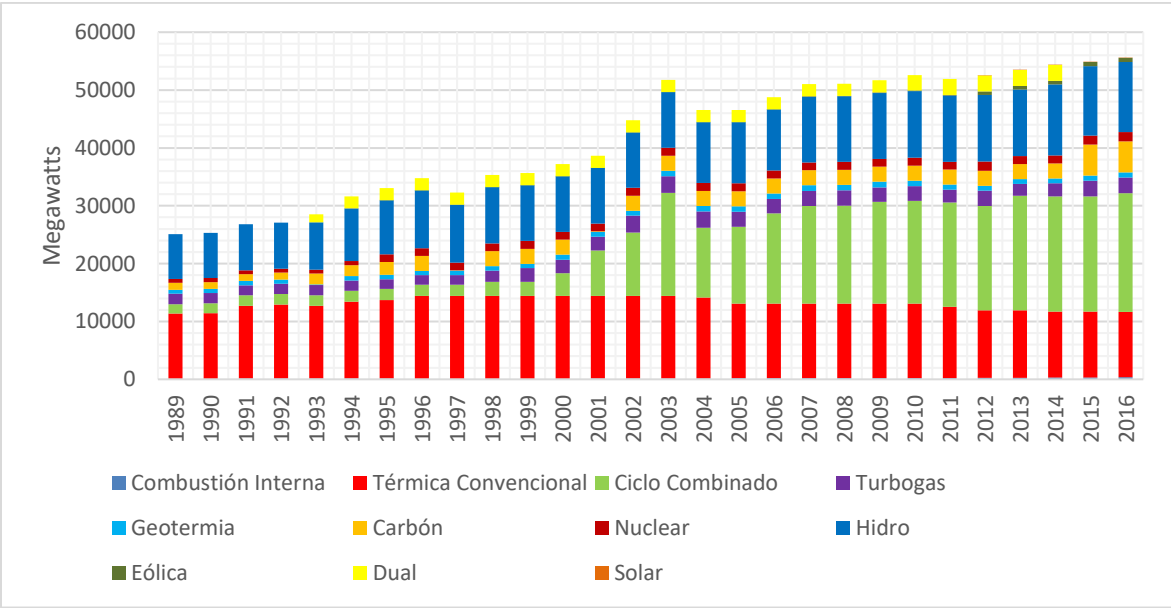


Figura 4.3. Capacidad instalada (1989-2016). Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2012a.

Puede verse claramente que, a partir del año 2000, el sector eléctrico volvió el gas natural su materia prima predilecta. Sin embargo, la producción de gas natural en el país alcanzó su punto máximo en diciembre de 2008; lo que ha obligado a cubrir la demanda de dicho energético a través de importaciones, principalmente por parte de Estados Unidos. Por lo tanto, a pesar de haber logrado

una transición exitosa a un combustible más limpio, barato y eficiente, la seguridad energética nacional se encuentra vulnerable ante la alta dependencia al gas natural extranjero y la falta de diversificación energética. Además, al ser el gas natural un recurso no renovable, implica un volumen de reservas limitado, por lo tanto, no debiera considerarse una solución de largo plazo para la escasez de recursos; y aunque su combustión no genera la misma cantidad de GEI que el petróleo o el carbón, la emisión de azufre, el material particulado y otros contaminantes nocivos para la salud y el medio ambiente son motivo suficiente para controlar y limitar el uso de este combustible.

## 4.2 ¿QUÉ COMPROMISOS HA ASUMIDO MÉXICO EN PRO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

A través de diversos instrumentos jurídicos, de planeación y acuerdos internacionales, México ha dejado en evidencia su disposición para llevar a cabo el despliegue de una transición energética hacia un sistema bajo en carbono en los próximos años, con el fin de mitigar los efectos negativos del cambio climático y el declive de los combustibles fósiles.

### 4.2.1 Marco Jurídico

#### *Ley General de Cambio Climático*

Con el objetivo de regular las emisiones de GEI para evitar interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático se incorporó en junio de 2012 la Ley General de Cambio Climático (LGCC) (Carrillo Bañuelos, 2019). La LGCC tiene por objeto garantizar el derecho a un medio ambiente sano; definir la concurrencia entre los tres órdenes de gobierno en materia de cambio climático; regular las emisiones de GEI de origen antropógeno; regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático; reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas; fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología, innovación y difusión en materia de mitigación y adaptación, así como promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones (Anglés, 2020).

Entre las primeras metas establecidas se fijó la reducción de las emisiones de GEI en un 30% para el año 2020 con respecto de aquellas emitidas en 2000; así mismo, se estableció que tal reducción sea del 50% para el año 2050. Además, se determinó que para 2020 deberían de haberse generado en forma gradual, un sistema de subsidios que promuevan el uso de combustibles no fósiles, la eficiencia energética y el transporte público sustentable, y un sistema de incentivos que permita

hacer rentable la generación de electricidad a través de energías renovables, para que en 2024 la generación eléctrica de fuentes de energía limpias alcance como mínimo el 35 por ciento (Park, Cavazzani y Garza Cervera, 2012)

En materia de mitigación se tiene como objetivo principal establecer planes, programas, acciones, instrumentos económicos y regulatorios para el logro gradual de metas de reducción de emisiones específicas por sectores y actividades. Para ello, se prevén, entre otras, las siguientes acciones: fomentar la eficiencia energética y el uso de fuentes renovables de energía; diseñar inventivos para la absorción de carbono en las áreas naturales protegidas; reducir las emisiones para el uso de transporte; regular la construcción de edificaciones sustentables; promover tecnologías de mitigación cuyas emisiones sean bajas en carbono durante todo su ciclo de vida, y, generar educación y cambios en patrones de conducta, consumo y producción (LGCC, 2020).

Adicionalmente, la Ley insta formalmente el mandado de establecer de forma progresiva y gradual diversos mecanismos de reporte y gestión de las emisiones de GEI y, además, un sistema de comercio de emisiones (mercado de carbono) para promover la reducción de emisiones al menor costo posible, de forma medible, reportable, verificables, y sin vulnerar la competitividad de los sectores participantes, tanto a nivel público como a nivel industrial (PwC, 2021).

El 13 de julio de 2018 se llevaron a cabo enmiendas a la LGCC entre las cuales se estableció que una de las atribuciones de la federación es elaborar la Política Nacional de Adaptación (PNA) bajo el marco del Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC). Además, en el objeto de la Ley se establecieron bases para contribuir con el cumplimiento del Acuerdo de París de mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C (Barbosa, 2018).

Aunque la LGCC determinó instrumentos de planeación de la política nacional de cambio climático, definió las facultades de los tres órdenes de gobierno, y estableció bases para una política climática de largo plazo, se manifestaron diversas preocupaciones sobre la posible descoordinación de las autoridades al momento de operar en el SINACC. Se identificó que la falta de coordinación entre las autoridades, inmersa en una dinámica de capacidades institucionales y voluntad política, ha generado inquietudes sobre los posibles desaciertos del diseño de la política nacional de cambio climático (Carrillo Bañuelos, 2019).

### *Ley de Transición Energética*

Tras la reforma constitucional en materia energética aprobada en diciembre de 2013, se instó a realizar las adecuaciones jurídicas necesarias para establecer las bases para que el Estado proteja el medio ambiente a través de la incorporación de criterios y mejores prácticas en el uso de energía, la disminución en la generación de GEI, así como la menor huella de carbono en todos los procesos. De esta forma, se publicó el 24 de diciembre de 2015 la Ley de Transición Energética (LTE), que tiene como objetivo regular el aprovechamiento sustentable de la energía, y establecer las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica, procurando la competitividad de los sectores productivos (Anglés, 2020).

Dentro de la LTE, se define a las energías renovables como aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se general naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes, esto es: el viento, la radiación solar, la hidroeléctrica, la energía oceánica, el calor de los yacimientos geotérmicos y los bioenergéticos (LTE, 2015).

En cuanto a la definición de energías limpias, la LTE hace referencia a lo que señala la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), la cual las define como aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos (LIE, 2021). En dicha categoría caben las energías renovables antes mencionadas, más la energía generada por el aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados, la energía nucleoelectrica, la energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno, por los ingenios azucareros, por centrales de cogeneración, por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento de carbono, entre otras tecnologías consideradas de bajas emisiones de carbono (LIE, 2021). Resulta notable que en la definición de energías limpias cabe un gran número de fuentes de energía contaminantes que contribuyen de forma significativa a la emisión de GEI y, por lo tanto, no debiera de ser consideradas en el término ni su empleo en el largo plazo. Dejando así una muestra de la falta de una política congruente orientada a la verdadera mitigación del cambio climático y la protección de los derechos humanos (Anglés, 2020).

Por otro lado, en el Capítulo V de la LTE se hace referencia a los Certificados de Energías Limpias (CEL), con el fin de promover las energías limpias y renovables, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) desarrolló estos instrumentos de mercado con los cuales se busca fomentar el crecimiento de

este tipo de energías en la generación de energía eléctrica (Anglés, 2020). De acuerdo con la LIE, se obliga a la adquisición de estos certificados a los suministradores, usuarios calificados participantes del mercado y los usuarios finales que reciban energía eléctrica por el abasto aislado, así como a los titulares de los contratos de interconexión legados cuya energía no provenga en su totalidad de una central eléctrica limpia (LIE, 2021).

#### 4.2.2 Instrumentos de Planeación

##### *Plan Nacional de Desarrollo 2019 – 2024*

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) es el instrumento, ordenado por la ley, mediante el cual cada gobierno, al principio de su gestión, esboza los objetivos y las estrategias que guiarán su actuación durante el sexenio (Sánchez González, 2019). El PND de la actual administración ha anunciado una transformación total del país, por lo cual se han dado lugar a estrategias y programas de diversa índole. En materia energética se ha propuesto rescatar el sector por medio de las Empresas Productivas del Estado (EPE), PEMEX y CFE, para que puedan volver a operar como palancas del desarrollo nacional. Además, con el fin de fortalecer la seguridad energética del país, se plantea la rehabilitación de las refinerías existentes, la construcción de una nueva refinería y la modernización de las instalaciones generadoras de electricidad propiedad del Estado, particularmente las hidroeléctricas (PND, 2019).

Como se mencionaba anteriormente, estas estrategias son mutuamente excluyentes con los objetivos de la transición energética. No obstante, el PND establece que la nueva política energética impulsará el desarrollo sostenible mediante la incorporación de poblaciones y comunidades a la producción de energía con fuentes renovables, mismas que dotarán de electricidad a las pequeñas comunidades aisladas que carecen de dicho servicio (PND, 2019). Sin embargo, como se ha observado a lo largo de la presente investigación, el alcance requerido de la transición energética es tal, que este tipo de medidas resultan, por una parte, indispensables de desarrollar, pero por otra, insuficientes para lograr los compromisos adquiridos internacionalmente, mitigar el cambio climático, fomentar el desarrollo sustentable a nivel nacional y sentar las bases de un nuevo sistema energético.

##### *Programa Sectorial de Energía 2020-2024*

El Programa Sectorial de Energía (PROSENER) contiene los objetivos, estrategias y acciones que regirán el desempeño de las actividades del sector energético del país durante el periodo 2020-

2024. Se elabora con el fin de dar cumplimiento a lo previsto en el PND y, además, se alinea a la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Transición Energética, la Ley General de Cambio Climático, a los compromisos internacionales, entre otras publicaciones. El documento parte de un diagnóstico, en el que se presenta un resumen de la situación actual del sector energético, así como los principales retos que enfrentará la presente administración.

En el PROSENER se establecen seis objetivos prioritarios, de los cuales es posible relacionar al menos tres con la transición energética. Dentro del Objetivo Prioritario número 1 se plantean estrategias para alcanzar y mantener la autosuficiencia energética sostenible para satisfacer la demanda energética de la población, para lo cual, entre otras medidas, se propone desarrollar proyectos de generación de energías renovables para contribuir al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de forma ordenada y sostenible. Sin embargo, las acciones de esta estrategia sugieren un mayor enfoque hacia la revisión de los lineamientos, permisos, costos y contratos de este tipo de tecnologías y hacia el diseño de las condiciones y políticas de generación de energía renovable, en lugar de dirigir la mayor parte de las acciones hacia la implementación, despliegue y aprovechamiento de estos recursos.

Por otra parte, el Objetivo Prioritario número 3 establece “organizar las capacidades científicas, tecnológicas e industriales que sean necesarias para la transición energética de México a lo largo del siglo XXI” (SENER, 2020b). Para ello se proponen cuatro estrategias que, en conjunto, buscan alinear, coordinar y promover a través de la cooperación internacional y los diferentes institutos de investigación, tales como el Instituto Nacional de Investigadores Nucleares (ININ) y el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), el desarrollo tecnológico, innovación y formación de especialistas que permitan la transición energética en México, así como el fortalecimiento de la industria petrolera y eléctrica nacional, es decir, las EPE.

Finalmente, en materia de transición energética, el Objetivo Prioritario número 4 determina “elevar el nivel de eficiencia y sustentabilidad en la producción y uso de las energías en el territorio nacional” (SENER, 2020b). Dentro de dicho objetivo, se destacan la Estrategia 4.1 y 4.2, las cuales buscan, por una parte, establecer una política de diversificación energética y, por otra, reducir la emisión de GEI mediante tecnologías de eficiencia y aumento de rendimiento energético a diversos procesos. Además, se propone incrementar la producción de diésel de ultra bajo contenido de azufre, optimizar el uso de combustóleo en la generación de energía eléctrica e implementar instrumentos de planeación que se alineen a las metas establecidas en la LTE y la LGCC. No obstante, como se ha

mencionado anteriormente, aquellas medidas que consideren el empleo de combustibles fósiles como parte de la transición energética, son únicamente útiles en el corto o mediano plazo, ya que se trata de recursos limitados y contaminantes.

### *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios*

Bajo el marco de la Ley de Transición Energética se puso en marcha la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, la cual establece políticas y acciones bajo los tres objetivos establecidos para la misma Estrategia: establecer las metas y la hoja de ruta para la implementación de las metas de eficiencia energética y energías limpias; fomentar la reducción de emisiones contaminantes originadas por la industria eléctrica; y reducir, bajo criterios de viabilidad económica, la dependencia del país de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía (SENER, 2020a).

Las acciones de la Estrategia se definen bajo cinco ejes rectores: investigación, desarrollo e innovación; regulaciones; instituciones; desarrollo de capacidades y recursos humanos; y mercados y financiamiento. El conjunto de acciones se establece para cinco sectores: transporte, industria, edificaciones, servicios públicos municipales y agroindustria.

La versión más reciente de la Estrategia se publicó en febrero de 2020, la cual incorporó los principios de la política energética nacional de la presente administración, por lo que se replanteó una visión diferente de la transición energética hacia el año 2050, dirigida a alcanzar: una industria nacional de bienes de capital y equipos diseñados y producidos por los sectores público, social y privado del país, que garantice una Transición Energética Soberana (TES) y que contribuya a la seguridad energética del país; y una población con acceso total a las tecnologías de punta, a los menores costos, con mejor calidad de vida, menor desigualdad social y que incorpore y adopte en sus servicios energéticos a las energías renovables y las prácticas de eficiencia energética (CONUEE, 2018).

La meta de porcentaje de participación de las energías limpias en la generación de energía eléctrica se mantuvo respecto a la versión pasada de la Estrategia (2016). Es decir, 35, 40 y 50 por ciento de participación para el año 2024, 2033 y 2050, respectivamente. En cuanto a las medidas de eficiencia energética, se estableció una nueva meta de reducción del consumo final de energía de 2.2% anual, en el periodo 2020-2035, y 2.5% anual para 2035-2050.

En resumen, y de acuerdo con lo establecido en la LTE, la estrategia funciona como eje rector de la política energética en el mediano y largo plazo en materia de obligaciones de energías limpias, aprovechamiento sustentable de la energía y mejora en la productividad energética de reducción económicamente viable de emisiones contaminantes de la industria (CONUEE, 2018). Además, constituye el instrumento que dirige la elaboración del Programa Especial de Transición Energética (PETE) y el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE). Por un lado, el PETE tiene como objetivo instrumentar las acciones establecidas en la Estrategia para la Administración Pública Federal, asegurando su viabilidad económica. Por otro, el PRONASE es el instrumento que establece las acciones, proyectos y actividades derivadas de la Estrategia, que permiten alcanzar las metas en materia energética en el corto plazo (SENER, 2020a). Ambos documentos continúan pendientes de publicación por parte de la actual administración.

### *Estrategia Nacional de Cambio Climático*

Derivado de la Ley General de Cambio Climático, se establece que, para la integración y el funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático, se contará con un conjunto de instrumentos de planeación, siendo el principal de ellos, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) (CEFP, 2013). Este documento es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. Además, describe los ejes estratégicos y líneas de acción a seguir para orientar las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático establecidas en la LGCC (CEDRSSA, 2020). La estructura de la ENCC se conforma por tres temas principales: los pilares de la política nacional de cambio climático, la adaptación a los efectos del cambio climático, y el desarrollo bajo en emisiones y/o mitigación.

La última versión de la ENCC fue actualizada en 2016, durante la administración a cargo del expresidente Enrique Peña Nieto. Se establecieron seis pilares para la construcción de una política nacional de cambio climático, es decir, mecanismos tales como políticas fiscales; instrumentos económicos y financieros; investigación, innovación y desarrollo de tecnologías climáticas; herramientas de medición, reporte, verificación, monitoreo y evaluación; y cooperación estratégica internacional.

En la última versión de la ENCC también se definen tres ejes estratégicos en el tema de adaptación que buscan reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica, los sistemas productivos y el sector social ante los efectos del cambio climático. Además, se proponen



líneas de acción para conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas y los servicios que estos proveen. En materia de mitigación, se definen cinco ejes que tienen por objetivo dirigir el desarrollo del país hacia uno bajo en emisiones, para lo cual se propone acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia; reducir la intensidad energética mediante medidas de eficiencia y de consumo responsable; transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono; impulsar mejores prácticas agropecuarias y forestales para incrementar y preservar los sumideros naturales de carbono; y reducir emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta y propiciar cobeneficios de salud y bienestar (SEMARNAT, 2016).

De acuerdo con la ENCC, se publica el PECC, el cual establece los objetivos, estrategias, acciones y metas para enfrentar el cambio climático mediante la definición de prioridades en materia de adaptación, mitigación, investigación, así como la asignación de responsabilidades, tiempos de ejecución, coordinación de acciones y de resultados, y estimación de costos (CEDRSSA, 2020). A la fecha, ambos documentos no han sido actualizados por parte de la actual administración, sin embargo, se esperaría que ambas publicaciones reflejen los intereses y objetivos planteados por el gobierno del presidente Andrés Manuel López Obrador, lo que genera cierta incertidumbre respecto a la iniciativa que tomará en relación con el cambio climático y sus efectos.

#### 4.2.3 Acuerdos Internacionales

##### *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático entró en vigor el 21 de marzo de 1994, como producto de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, Brasil en 1992. El objetivo final de la Convención es estabilizar las concentraciones de GEI a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Además, establece que ese nivel debería alcanzarse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (UNFCCC, 2012).

La Convención fue firmada por el gobierno mexicano en junio de 1992 y ese mismo año fue aprobada por la Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión. La Convención fue ratificada ante la ONU en 1993 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Como parte de los acuerdos de la UNFCCC, las Partes firmantes están sujetas a los compromisos generales de responder al cambio

climático y, por lo tanto, se ha acordado formular, aplicar y actualizar periódicamente los programas nacionales de cambio climático; cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático; compilar inventarios nacionales de las emisiones de GEI y presentar informes periódicos sobre las medidas que están tomando las naciones para aplicar la UNFCCC (INECC, 2018a). Los países en desarrollo se conocen como países no Anexo I y no tienen compromisos cuantitativos de reducción de emisiones, no obstante, comparten los compromisos aplicables a las actividades de planeación, implementación de acciones y educación, y difusión del conocimiento (SEMARNAT, 2015).

Tras la ratificación de la UNFCCC, México se comprometió, al igual que a otros países, a realizar acciones de mitigación del cambio climático; crear programas que atiendan este problema; integrar inventarios nacionales de las emisiones de GEI y presentar información periódica sobre las medidas que se están adoptando y avances logrados a nivel nacional, esto a través del informe Comunicaciones Nacionales sobre el Cambio Climático (SEDEMA, 2016). Bajo el marco de la Convención, México ha desarrollado instrumentos de política y herramientas legales para el cumplimiento de sus compromisos procurando integrar el tema del cambio climático en todos los órdenes gubernamentales y sectores económicos. Asimismo, se ha incorporado el tema en la agenda de derechos humanos, en especial en la de los pueblos indígenas y de género (SEMARNAT, 2012b).

#### *Protocolo de Kioto de la UNFCCC*

Entre las diversas actividades para dar cumplimiento a sus compromisos ante la UNFCCC, México ratificó el Protocolo de Kioto en el año 2000. Este instrumento establece en su Anexo B metas cuantitativas específicas para la reducción de emisiones de GEI que son obligatorias para los países desarrollados y con economías en transición. Sin embargo, como país no Anexo I, México no tiene dichas obligaciones de reducción de emisiones.

Por otro lado, el Protocolo establece, entre otras cosas, una serie de mecanismos de mercado para facilitar el cumplimiento de los compromisos de mitigación de los países desarrollados y promover el desarrollo sustentable en los países en desarrollo. Uno de ellos es el Mecanismo para un Desarrollo Limpio, el cual permite la realización de proyectos de reducción de emisiones entre países desarrollados y países en desarrollo. México tiene el quinto lugar a nivel mundial en desarrollo de proyectos MDL, mismos que se han desplegado en las áreas de recuperación de metano, energías

renovables, eficiencia energética, procesos industriales y manejo de desechos, entre otros (SEMARNAT, 2015).

### *Acuerdo de París*

Durante la 21ª Conferencia de las Partes se aprobó el Acuerdo de París, el cual entró en vigor en noviembre de 2016 y sustituyó al Protocolo de Kioto al concluir su segundo periodo de compromisos en el año 2020. El Acuerdo de París fijó como principal objetivo mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales (UN, 2015), mismo que entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Una de las principales características de este Acuerdo fue que cada uno de los países miembro definió de forma voluntaria su grado de compromiso a través de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional para la reducción de GEI.

Bajo este contexto, México se comprometió a reducir incondicionalmente un 25% de sus emisiones de GEI y de contaminantes de vida corta para el año 2030, lo que implica una reducción de 22% de sus emisiones y 51% de carbón negro. A su vez, el compromiso pudiera llegar hasta un 36% de las emisiones de GEI por debajo de la línea base para 2030, si, entre otras cosas, se presenta un precio internacional de carbono justo, ajustes fiscales para el carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y transferencia de tecnología (Anglés, 2020).

Paralelamente al Acuerdo de París, se adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual consta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas a realizarse desde la fecha de adopción hasta el año 2030. Se trata de aspiraciones globales, a partir de las cuales cada gobierno debe fijar sus propias metas nacionales, con el objetivo de erradicar la pobreza extrema, combatir desigualdades, prevenir el cambio climático, y otros desafíos que ponen en riesgo a las generaciones futuras (PNUD, 2019).

Los ODS que establece la Agenda 2030 buscan mejorar de manera integral las tres dimensiones del desarrollo: económica, social y ambiental. En materia energética, se identifica el ODS número siete, el cual busca garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. Bajo este objetivo, México se ha comprometido a producir 37.7% de la energía eléctrica con energías limpias para 2024, duplicar la inversión gubernamental en innovación y desarrollo tecnológico para energías limpias para 2020, alcanzar 99.8% de electrificación para 2024, reducir anualmente la

intensidad de consumo final de energía en un 1.9% para el periodo 2016-2030, y alcanzar la meta regional de Norteamérica de general 50% de la electricidad por medio de energías limpias para el 2025 (UN, 2016).

Las metas que México ha asumido en materia de reducciones de GEI y sustentabilidad requiere diseñar políticas públicas que incentiven el uso de energías renovables efectiva descarbonización de la economía (Anglés, 2020). Considerando que las administraciones pasadas hicieron ínfimos esfuerzos por cumplir con las metas propuestas; por su parte, el gobierno del presidente Andrés Manuel López Obrador ha planteado garantizar la soberanía energética, para lo cual se proyecta impulsar actividades de refinación de combustibles fósiles y, de manera simultánea, mitigar los efectos del cambio climático mediante el cumplimiento de los compromisos asumidos en el marco del Acuerdo de París y de la Agenda 2030; sin embargo, ambos objetivos son mutuamente excluyentes (Anglés, 2020). Dicho tema será retomado posteriormente.

### 4.3 ¿CUÁLES HAN SIDO LOS AVANCES Y RETROCESOS DE MÉXICO EN MATERIA DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

#### 4.3.1 Situación Actual

##### *Estadísticas*

Con la Reforma Energética aprobada en 2013, se llevó a cabo una reestructuración en el sector la cual modificó la participación de las Empresas Productivas del Estado en el mercado energético nacional, permitió el ingreso de empresas privadas en la mayoría de las etapas de producción y distribución, y se logró la creación de organismos del Estado mexicano que actúen como reguladores del sector energético. Con estas modificaciones, se pretendía demorar la constante disminución en la producción de crudo de PEMEX, a través de procesos de licitación, para abrir la posibilidad a privados a acceder en las etapas de exploración y producción o seleccionar alguna compañía privada para trabajar en conjunto con PEMEX. Sin embargo, los resultados de la Reforma Energética no han sido los esperados (Figura 4.4).

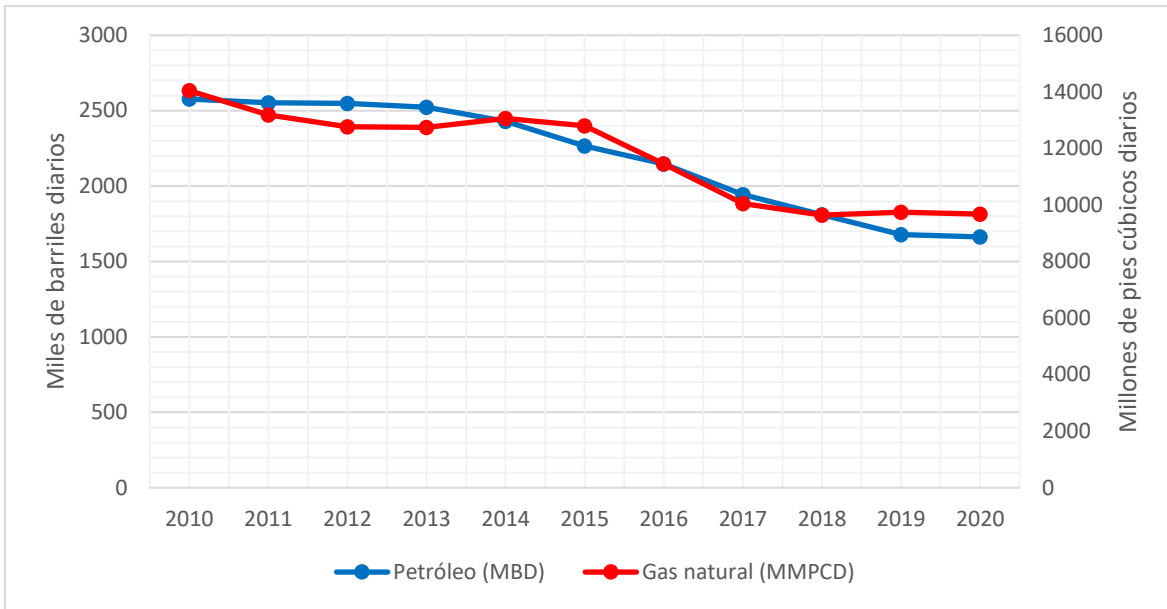


Figura 4.4. Producción nacional de petróleo y gas natural (2010-2020). Fuente: Elaboración propia con datos de CNH, 2021.

Otro punto destacado, fue la Ley de Transición Energética la cual introdujo conceptos importantes como la seguridad energética, la sustentabilidad, el compromiso con el medio ambiente y el uso de tecnología y combustibles más limpios (Walsh, Blomeier y Beck, 2020). Esta ley en conjunto con la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios establecen como metas de generación de energías limpias para 2024, el 35.1% de la generación eléctrica total; en 2033, el 39.9% y en 2050, el 50% de la generación eléctrica total (CENACE, 2020).

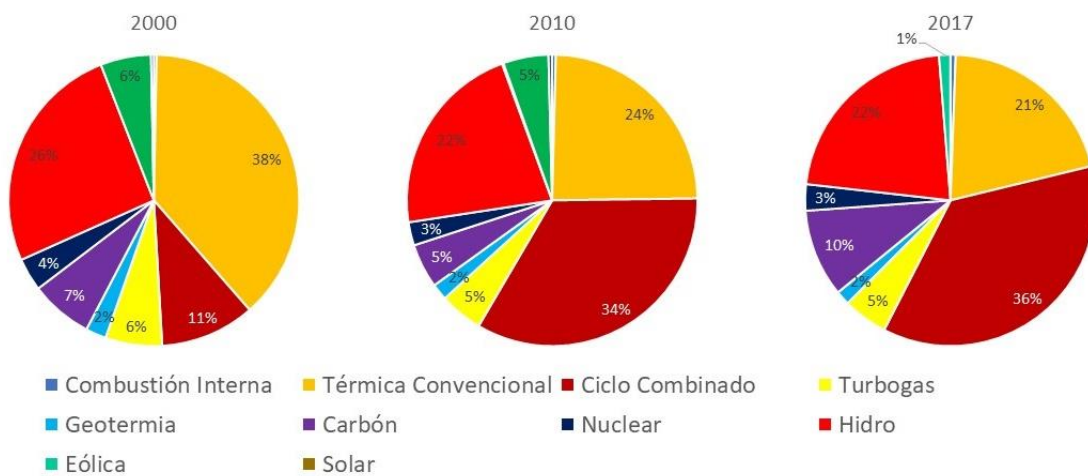


Figura 4.5. Generación de energía eléctrica por tecnología en el año 2000, 2010 y 2017. Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2021.

Sin embargo, actualmente el Sistema Eléctrico Nacional depende mayoritariamente de los combustibles fósiles, con 72% de la capacidad instalada en 2017, en gran medida por el uso de gas natural (36%). Dicho en otras palabras, sólo 164,053 MW de los 661,466 MW instalados en México, es decir el 24%, corresponden a energías renovables. Ahora bien, si se excluyen a las grandes hidroeléctricas, debido a sus significativos impactos en el medio ambiente y su contribución a las emisiones de metano, tan sólo el 3% de la generación de energía en el país se dio con fuentes renovables durante el mismo año (Figura 4.5) (Mendivil y Niño, 2016) (SENER, 2020a).

Aunque la generación de energía a partir de fuentes renovables ha aumentado en los últimos años, debido, en buena parte, a las nuevas disposiciones de la Reforma Energética, con la llegada de la nueva administración, se ha comunicado la intención de detener este avance. Se ha informado la afinidad a aumentar la producción de energías fósiles y dejar de lado la promoción de fuentes renovables, con el argumento que éstas son poco confiables debido a la intermitencia en su generación (Walsh et al., 2020). Dicha situación ha provocado un clima de inversión bastante incierto, frena los procesos de ingreso y aprobación a la red, y se desaprovecha el alto potencial de generación de energías limpias en el país.

Por otra parte, México también se ha comprometido a reducir sus emisiones de GEI en un 30% para el año 2020 y 50% para 2050 por debajo de los niveles del 2000. De acuerdo con datos del *BP Statistical Review 2020*, México ocupó el décimo tercer lugar de los países más emisores en 2019, con el 1.28% de las emisiones globales de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles. Según los datos del más reciente Inventario Nacional de Emisiones (INEGEI), publicado en 2017, las emisiones totales de GEI en México fueron de 733,822.44 Gg de CO<sub>2</sub>e. Asimismo, el INEGEI reporta que los sectores que más contribuyen a las emisiones de GEI en México son el transporte y la generación de energía eléctrica, debido a la alta dependencia a los combustibles fósiles (Figura 4.6). Específicamente, la generación de electricidad fue responsable de la emisión de 162,105.51 Gg de CO<sub>2</sub>e. Resulta evidente que, a pesar de las Leyes, Estrategias y Programas promulgados en el país, las metas, tanto de energías limpias como de emisiones de GEI, se encuentran aún lejos de satisfacerse.

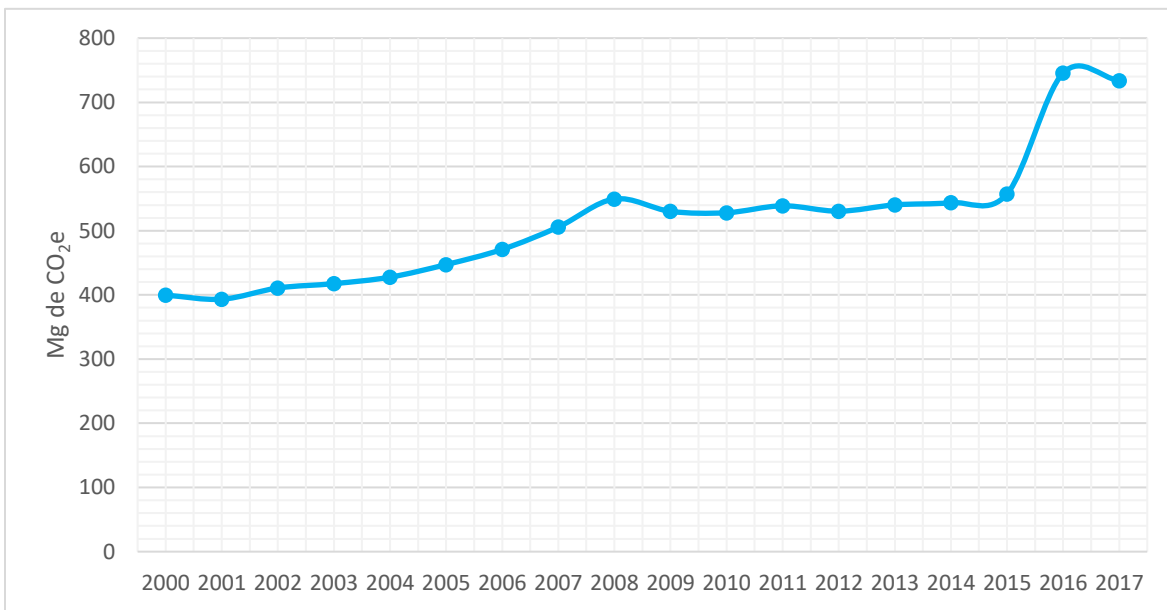
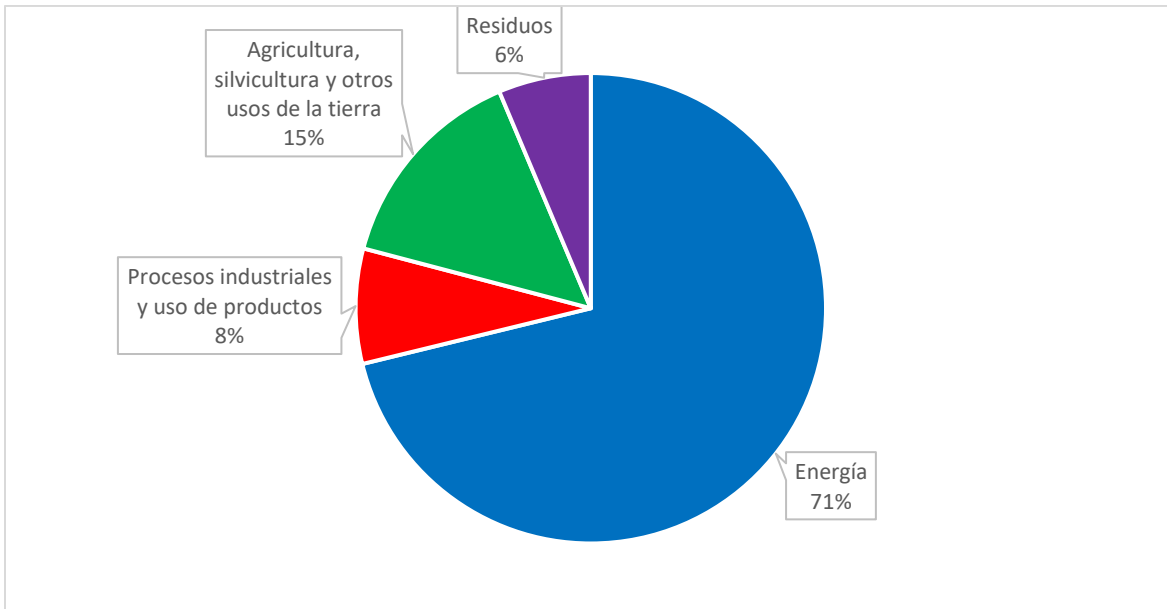


Figura 4.6. Arriba. Distribución de emisiones totales por sector. Abajo. Emisiones Netas en el periodo 2000-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de INECC, 2018b.

### ***Evaluación sobre el desempeño de México en materia energética y ambiental***

Derivado de los compromisos concertados, diversas instituciones nacionales e internacionales realizan periódicamente evaluaciones sobre el desempeño y progreso de dichos acuerdos a los países involucrados, con el fin de detectar deficiencias y brindar recomendaciones sobre el tema. Para el caso de México se destacan diversas evaluaciones cuyos resultados difieren poco una de otra. En primer lugar, en 2013 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés) llevó a cabo la tercera Evaluación sobre el Desempeño Ambiental de

México, en cuyos resultados concluyó que el tema de sustentabilidad fue reconocida a nivel federal y estatal en la integración de la política ambiental. La misma evaluación presentó recomendaciones como eliminar subsidios perjudiciales para el medio ambiente, conciliar objetivos ambientales con los de mitigación de la pobreza, integrar criterios ambientales al desarrollo y uso de la energía y las distintas fuentes de energía (Ponce Nava, 2020). Además, la Evaluación de la OECD señaló que existen fuertes traslapes y vacíos entre las funciones y las acciones gubernamentales ambientales y de los recursos naturales. En resumen, recomendó mejoras sustanciales en la gobernabilidad ambiental, es decir, en los actos de gobierno que realizan las autoridades encargadas de esas tareas (Ponce Nava, 2020).

Por su parte, entre las diversas funciones del INECC, se encuentra la evaluación de los instrumentos de planeación de la política nacional de cambio climático, incluyendo el cumplimiento de los objetivos de adaptación y mitigación previstos en la LGCC (Carrillo Bañuelos, 2019). Los resultados de dicha evaluación en el año 2018 concluyeron que las acciones del gobierno no conforman una política sistemática, junto con la ausencia de objetivos específicos para las autoridades. Es decir, a pesar de que se ha construido una plataforma para atender el cambio climático, las autoridades no ejercen sus atribuciones ni se da seguimiento a las acciones de mitigación y adaptación contenidas en los instrumentos normativos y de planeación (INECC, 2018a).

Aunque el INECC reconoce avances en la disponibilidad de la información pública gubernamental relevante para hacer frente al cambio climático, también señala que el acceso a dicha información es complejo, o incluso inexistente, en las entidades federativas y en el ámbito municipal (Carrillo Bañuelos, 2019). La carencia de este tipo de información evita que los riesgos y daños que podrían causar los fenómenos asociados al cambio climático sean plenamente entendidos por las comunidades afectadas y por las autoridades responsables.

Por último, el Índice de Desempeño de Cambio Climático (CCPI, por sus siglas en inglés), una herramienta de monitoreo de la protección climática, evaluó el desempeño de México con un puntaje de 56.82%, es decir, un desempeño moderado. En la categoría de políticas en materia de cambio climático, los analistas otorgan una alta calificación al desempeño de México en el escenario internacional, enfatizando el papel proactivo del gobierno en las negociaciones internacionales y su participación en diferentes asociaciones internacionales y regionales. Sin embargo, el análisis concluye que esta imagen positiva no coincide con la política climática a nivel nacional. Asimismo,



se destaca que los objetivos de reducción de emisiones de México no son lo suficientemente ambiciosos y que carecen de implementación (Carrillo Bañuelos, 2019) (CCPI, 2020).

En resumen, bajo distintas perspectivas se llega a una conclusión similar. Efectivamente se ha desplegado un interesante paquete legislativo en pro del cambio climático y la transición energética en el país, sin embargo, la implementación de dichas medidas y estrategias continúan sin ser tangibles en los resultados. Resulta evidente que la línea entre la obligatoriedad y el cumplimiento optativo de los mandatos de la ley pareciera disolverse en una cuestión de voluntades (Carrillo Bañuelos, 2019).

#### 4.3.2 Política Energética vs. Política Ambiental

##### *Reforma Energética (2013)*

Como se ha mencionado anteriormente, con la promulgación de la Reforma Energética en 2013, se buscaba fomentar la transición energética y se desarrolló un conjunto de leyes, programas, estrategias y herramientas con el fin de impulsarla. No obstante, es posible identificar ciertas incongruencias con el objetivo de migrar hacia un sistema energético bajo en carbono. En primer lugar, lo planteado en la reforma para promover la transición energética atendió principalmente al sector eléctrico, sin embargo, es necesario considerar que el generador de emisiones es todo el sector energético. Actualmente existe una serie de retos poco abordados e importantes para la reducción de emisiones, como es el caso de la energía calorífica y el transporte, principalmente (Ortiz Mantilla y Ramírez Cabrera, 2021).

Previo a la Reforma Energética, el marco jurídico en materia de energías renovables, es decir, la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, señalaba que la meta de 35% de generación a partir de fuentes limpias para 2024 debería cumplirse únicamente con el impulso de energías renovables. Ahora bien, la LIE incluye en su definición de energías limpias a la energía nuclear, las grandes hidroeléctrica, la cogeneración eficiente, entre otras. En consecuencia, se instauró que la meta de energías limpias para 2024, fuese cubierta con la participación de las energías renovables y del gas natural (Mendivil y Niño, 2016).

Bajo esta perspectiva, la Reforma representa un sistema de apoyo político, económico y de infraestructura para los proyectos de explotación de dicho hidrocarburo, promovido por el gobierno federal como el principal camino por medio del cual se llegará a cumplir con los compromisos de reducción de emisiones nacionales e internacionales (Mendivil y Niño, 2016). Sin embargo,

fomentar las actividades destinadas a la producción de hidrocarburos, generará un incremento en las emisiones de GEI del sector. Además, como ya se ha mencionado, apostar por el gas natural en el mediano y largo plazo es una medida poco sustentable, sobre todo en el caso de México, cuyas reservas y producción se encuentran en constante declive y más del 60% de su demanda es cubierta por gas natural importado, principalmente de Estados Unidos.

Adicionalmente a las evidentes ventajas políticas que la Reforma representa para los proyectos de hidrocarburos en México, han existido diversos obstáculos que retrasan y dificultan el despliegue de las energías renovables en el país. Uno de ellos es el arancel del 15% impuesto a la importación de paneles solares desde 2014, lo que limita la inversión y la generación de electricidad por medio de esta tecnología y pone en riesgo a la industria nacional (Mendívil y Niño, 2016). En un contexto de transición energética y donde se busca la diversificación de la matriz energética por medio de la Reforma, esta política fiscal resulta contradictoria.

Algo semejante ocurrió con la iniciativa de la LTE, misma que fue detenida durante dos años en el Congreso debido a las disputas entre partidos políticos, así como los intereses de industrias productivas representadas por diversas cámaras de comercio. Con la aprobación de la LTE, la LIE estableció la obligación a las industrias de generar el 5% de su energía por medio de fuentes limpias, motivo por el cual fueron creados los CEL para su compra – venta en el mercado. No obstante, se impusieron condiciones que permitirían a la industria postergar y no cumplir en su totalidad con los compromisos. Aunque dichos compromisos representen costos e inversiones extras, la transición y seguridad energética no debieran estar subordinadas a los intereses económicos de los particulares (Mendívil y Niño, 2016).

En conclusión, es posible observar que la política energética construida a partir de la Reforma de 2013 no es coherente con la política climática nacional, ya que representa un marco de promoción e incentivos a los combustibles fósiles, principales responsables del cambio climático a nivel mundial (Mendívil y Niño, 2016).

#### *Por el rescate de la soberanía*

Ahora bien, con la llegada de Andrés Manuel López Obrador a la Presidencia, se cambió la visión y perspectiva con respecto a la prioridad que se le debiera de dar a las energías renovables, provocando gran incertidumbre (Ortiz Mantilla y Ramírez Cabrera, 2021). De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, se busca la recuperación del sector energético, que refiere como

un propósito de importancia estratégica el rescate de las EPE. Por tal motivo, y a efecto de garantizar la competencia de la CFE en el mercado eléctrico, se cancelaron las subastas de energía eléctrica de largo plazo, mismas que desde 2015 se habían convertido en el principal mecanismo de promoción de proyectos privados de energía renovable a gran escala (Angles, 2020). Además, esta cancelación debilita que se ponga en operación el mercado de CEL, que se comercializan con el objetivo de lograr las obligaciones en materia de generación con el objetivo de lograr las obligaciones en materia de generación con energías limpias (Piña Navarro, 2020).

Por otro lado, la actual administración considera a PEMEX como la palanca del desarrollo nacional, por lo tanto, la política energética se basa en prolongar el uso y aprovechamiento de los derivados del petróleo en la movilidad y en la generación de energía, incrementando la capacidad de refinación para satisfacer el mercado interno de gasolinas (Ramírez Cabrera, 2020). Sin embargo, la idea de un modelo energético que dependa de una explotación intensiva de combustibles fósiles, va en contra del declive natural de la producción de crudo en México y de los esfuerzos a nivel mundial para avanzar en una transición energética hacia fuentes renovables, y contradice los compromisos internacionales como el Acuerdo de París (Piña Navarro, 2020).

Con el anuncio de la construcción de una nueva refinería y la modernización de las existentes como una medida para asegurar la soberanía energética, pareciera una forma de obligar a mantener políticas de uso de combustibles por los siguientes 30 a 35 años, que es el retorno de inversión mínimo de una refinería (Ramírez Cabrera, 2020). Por su parte, el presidente Andrés Manuel López Obrador justifica la construcción de la refinería de Dos Bocas porque parece irracional vender petróleo crudo al extranjero para posteriormente importar gasolinas. Sin duda, la seguridad energética del país es un tema prioritario, sin embargo, si el argumento de su construcción es la dependencia de las importaciones, resulta discordante que no haya acciones para contrarrestar que casi 70% del gas consumido en México durante el 2020 provino de Estados Unidos (Piña Navarro, 2020).

Así mismo, a principios de mayo de 2020, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) publicó un acuerdo que buscaba la suspensión de pruebas operatorias por parte de las empresas privadas que generan electricidad a través de plantas fotovoltaicas y eólicas, y suspendió el acceso de nuevas empresas al mercado eléctrico nacional (Walsh et al., 2020). Con dicho acuerdo, se otorgaba prioridad en el despacho de energía a las plantas de combustibles fósiles, y dejaba en segundo término a las empresas de energías renovables, con lo cual, se provocaría un aumento de

contaminantes y obstaculizaría la libre competencia. Las empresas afectadas comenzaron a recurrir a tribunales nacionales para ampararse frente a estas acciones y, finalmente, el Poder Judicial dio por suspendido definitivamente tal acuerdo.

No obstante, a principios del presente año, el presidente López Obrador entregó a la Cámara de Diputados una iniciativa que modifica y adiciona diversas disposiciones a la LIE, con el fin de que el despacho de energía al SEN priorice la que es producida por las centrales de la CFE, delegando al último lugar a las energías renovables y ciclos combinados operados por particulares (Juárez, 2021). En dicha propuesta, también se pretende ampliar el otorgamiento de los CEL a las centrales de generación limpia independientemente de quién sea el operador y de la fecha de entrada en operación. Otros puntos de la iniciativa son la rescisión de la obligación de CFE a comprar en subastas el suministro básico de electricidad y la revocación de ciertos permisos de autoabastecimiento.

Bajo la perspectiva del presidente, todo esto es necesario para el fortalecimiento de las EPE, lograr la soberanía energética y avanzar con los objetivos de desarrollo. Sin embargo, tales estrategias acompañadas de una escueta política en materia de transición energética aleja a México de los objetivos de mitigación y descarbonización (Anglés, 2020), así como, resultar en la producción de energía más sucia y costosa que amenaza la salud de los ciudadanos, daña el clima global y perjudica tanto a las empresas como a los trabajadores (Herrera, 2021).

Aunque al inicio el presidente López Obrador prometió dar continuidad a los acuerdos signados para combatir el cambio climático, las contradicciones entre los (de por sí modestos) logros obtenidos por la Reforma de 2013 y el proyecto energético del nuevo gobierno son cada vez más evidentes. Únicamente se ha mencionado la política de reforestación “Sembrando vida” como un mecanismo de captura de carbono, sin embargo, esta medida ofrece una porción marginal de las emisiones que deben evitarse o capturarse en el país (Ramírez Cabrera, 2020).

### 4.3.3 Prospectiva Energética Oficial

Conforme a lo establecido en la LTE, la Secretaría de Energía (SENER) con el apoyo de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) actualizó los escenarios y metas de energías limpias y eficiencia energética de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, y cuya prospectiva fue publicada en febrero de 2020. Dicha Estrategia

constituye el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo, en materia de obligaciones de energías limpias y aprovechamiento sustentable de la energía (SENER, 2020a).

La última actualización de la Estrategia, se elaboró bajo una nueva perspectiva reflejada en la frase “Hacia una transición energética soberana de México”. Dicho en otras palabras, se establece como fundamental iniciar la organización de una política de Estado que fomente la ciencia, tecnología, equipos, bienes de capital e industrias nuevas y necesarias de una política energética soberana para generar y utilizar energías renovables, con equipos diseñados y producidos por el sector público, social y privado del país (SENER, 2020a). De tal manera se busca aumentar la participación nacional en la matriz energética, y así, además de garantizar la seguridad y soberanía, asegurar el acceso a la energía en todo el país con tecnologías de punta y a los menores precios, para elevar la calidad de vida en el país.

En la Estrategia se plantearon dos escenarios: el escenario base, el cual representa las condiciones de las actuales políticas públicas de eficiencia energética; y el escenario de TES, que considera la intervención de medidas y políticas públicas adicionales de eficiencia energética. De acuerdo con el objetivo de esta investigación, sólo se considerará el análisis del escenario TES, mismo que fue elaborado bajo la suposición de una tasa media de crecimiento anual del Producto Interno Bruto de 2.7% para el periodo 2019-2050, un precio promedio de la mezcla mexicana de 84.2 dólares por barril en el periodo 2018-2050, y una población de 141.9 y 148.2 millones de habitantes en 2035 y 2050, respectivamente.

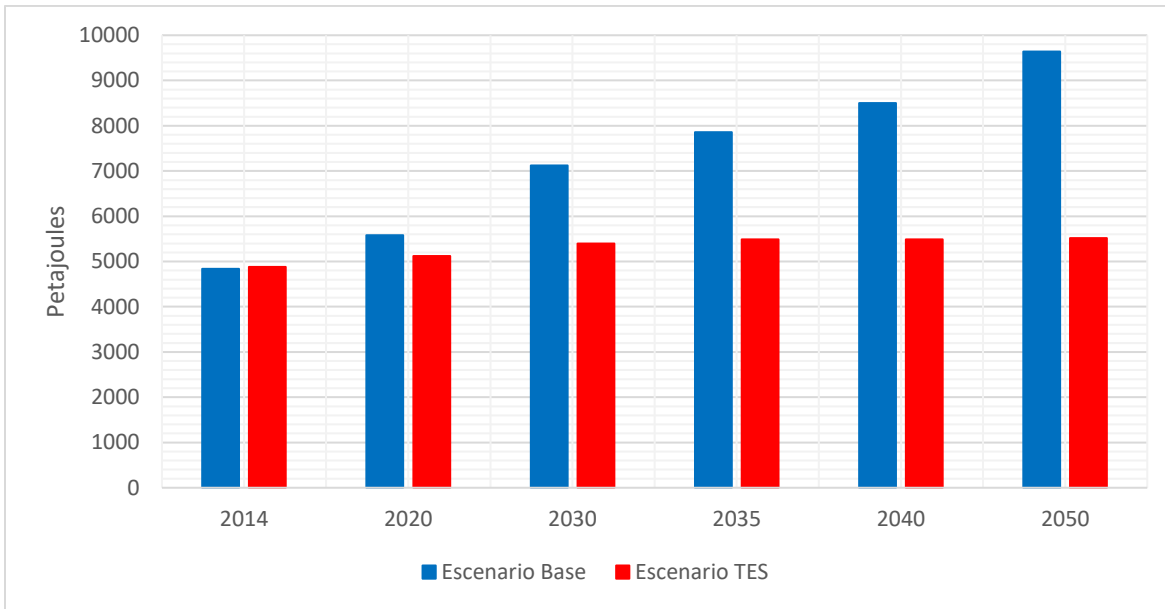


Figura 4.7. Escenarios del consumo final energético. Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2020a.

De acuerdo con la Estrategia, tras la promoción acelerada de las políticas y medidas de eficiencia energética y la modificación de la forma en la que se consume la energía en sectores clave, se impulsará la autosuficiencia del sector energía y sería posible estabilizar el crecimiento del consumo final de energía de los sectores de uso final, por lo que, se esperaría una tasa de crecimiento de 0.6%. De ser así, hacia 2035 todos los sectores y usuarios finales de la energía accederían a mejores servicios energéticos y reducir el consumo final un 30.1% respecto a la línea base. Por otro lado, para 2050 se considera que habrá factores que llevarán a un incremento en el consumo de energía, tales como cambios en la actividad económica, crecimiento poblacional y la mejora en los estilos de vida. Sin embargo, se espera reducir hasta 43% el consumo final respecto al escenario base (Figura 4.7).

Para alcanzar la trayectoria del escenario TES, en la Estrategia se determinan los siguientes impulsores: aumento significativo de la eficiencia energética de equipos y sistemas nuevos; sustitución de equipos por aquellos de alta eficiencia en los sectores industrial y comercial; mayor uso de transporte público y reducción del automóvil individual; promoción de los procesos de reciclado en industrias clave; y la electrificación de transporte público y privado tanto como sea posible (SENER, 2020a). Llama la atención que dicho conjunto de medidas promueve únicamente la eficiencia energética y la modificación de los patrones de consumo, aunque, como se ha mencionado anteriormente, la transición energética actual requiere de la inclusión de todos los sectores y niveles, sobre todo de aquellos que son estratégicos para lograr determinados resultados,

tales como el sector energético. Es decir, la eficiencia energética es un buen primer paso para aprovechar de mejor manera los recursos con los que el país cuenta, sin embargo, no es una solución de largo plazo para el declive de la producción nacional de hidrocarburos, ni para cumplir con las metas de reducción de emisiones.

Ahora bien, analizando la información por sectores, se halla que el sector transporte seguirá siendo el principal consumidor de energía, seguido por los sectores industrial y residencial (Figura 4.8). Por lo tanto, se determina que la estrategia más asertiva será acelerar y dirigir esfuerzos de eficiencia energética hacia dichos sectores, ya que estos permitirían alcanzar 84% de la reducción del consumo final de energía hacia 2050. Para lograr tales resultados, se establece como esencial vincular dicho escenario con la electrificación paulatina del sector transporte, que además debiera compaginarse con políticas asociadas a la tecnología de los vehículos y transformaciones profundas en los modos de movilidad de personas y mercancías (SENER, 2020a).

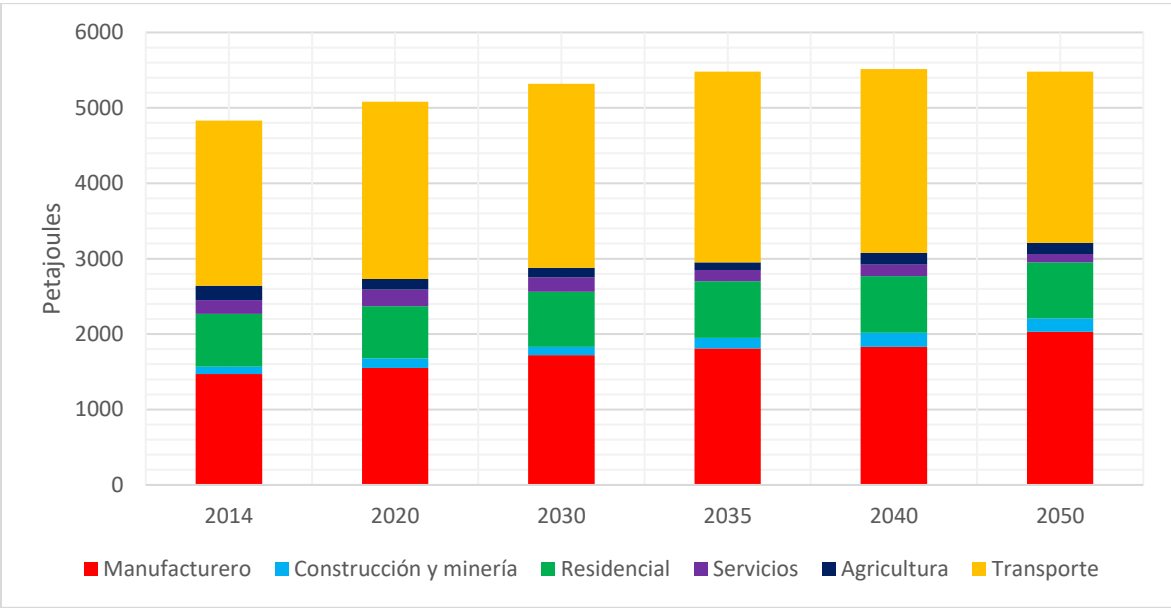


Figura 4.8. Consumo final de energía por sector 2014-2050. Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2020a.

Estas medidas permitirán reducir la demanda conjunta de gasolina y diésel en aproximadamente 23.2% para el año 2050. Dentro del escenario TES tal avance se produce lentamente debido al desarrollo de infraestructura asociada, ya que incluye la integración de vehículos, estaciones de carga y la adecuación de la red eléctrica. Se espera obtener en el 2050 un ahorro en el consumo de energía de 49.8% respecto al escenario base.

Por otro lado, en el sector industrial se considera aplicar distintas medidas de eficiencia energética, tales como el aprovechamiento de tecnologías de reciclaje para residuos industriales, automatización de los procesos de manufactura, aprovechamiento de la producción de calor útil y electricidad en la industria a través de sistemas de cogeneración, sustitución de equipos ineficientes, desarrollo de tecnologías para el ahorro de energía, el aprovechamiento de energías renovables para producir calor, entre otras. De llevarse a cabo esta estrategia sería posible reducir el crecimiento del consumo de energía en el sector a menor del 1% en promedio anual hasta 2050. Si bien la electricidad crecerá a un ritmo ligeramente superior al de la industria en su conjunto, el gas natural seguirá siendo el principal energético del sector hasta 2050.

Para el sector residencial se espera que el uso de electricidad supere al consumo de gas LP debido al efecto de sustitución en las fuentes de energía, ya que se considera una mayor penetración de los calentadores solares, que desplazan demanda de gas LP y gas natural para uso del calentamiento de agua sanitaria. Además, se prevé reducir el consumo de leña para la cocción de alimentos mediante estufas eficientes y ahorradoras. Con dichas medidas se reducirá el 36.3% la intensidad energética de las viviendas en 2050 y 17.3% el consumo de electricidad por vivienda en relación con el promedio actual, aún con mayor tenencia de equipos electrodomésticos por hogar (SENER, 2020a).

De llevarse a cabo la transformación de aquellos sectores clave, los resultados podrían verse reflejados en la intensidad energética de consumo final; mientras en el escenario base dicho valor disminuye a menos de 1% por año entre 2019 y 2050, en el escenario TES podría disminuir 2.4% por año en el mismo periodo (SENER, 2020a) (Figura 4.9). De tal forma, implementando y acelerando las medidas y políticas de eficiencia energética planteadas en la Estrategia, se podría evitar un consumo final de energía de más de cuatro veces respecto al escenario base.



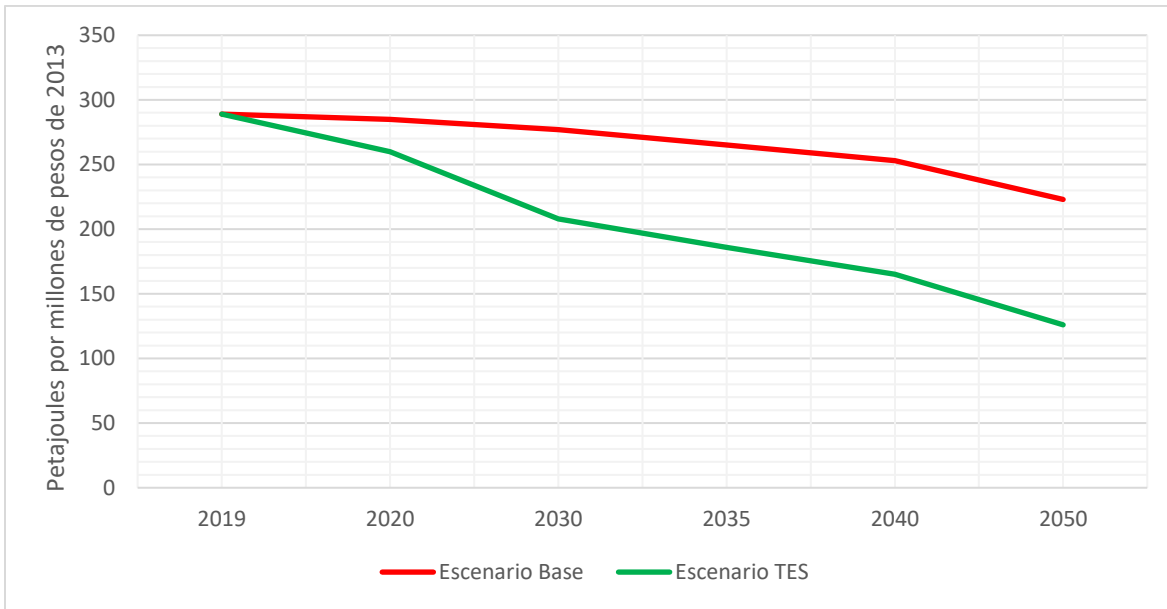


Figura 4.9. Intensidad energética de consumo final (2019-2050). Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2020a.

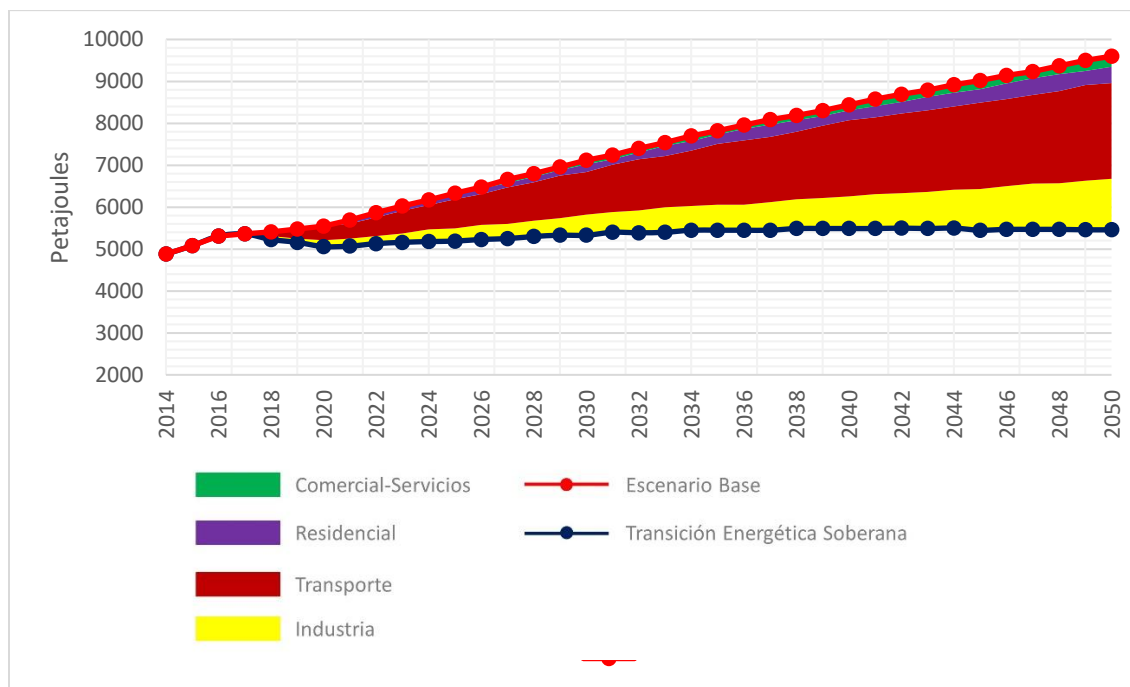


Figura 4.10. Escenarios de consumo final de energía y potenciales de ahorro de eficiencia energética por sector, 2014-2050. Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2020a.

Por su parte, el Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) proyecta que en los siguientes años la energía eléctrica producida para abastecer las necesidades del país llegará a 490,047 GWh en 2033, de los cuales 39.9% será producido a través de diversos tipos de energías limpias para el mismo año. No obstante, la clave para alcanzar el escenario TES se halla en

las metas de eficiencia energética, ya que, a través de la estrategia para alcanzarlas, se busca desacoplar el consumo de energía respecto al crecimiento de la economía, mejorando la productividad energética (Figura 4.10).

## RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 4

Tras identificar el potencial petrolero en México, la política energética se ha caracterizado por basar el desarrollo económico y el cumplimiento de la demanda de energéticos a través de la extracción de hidrocarburos. No obstante, a partir de los años setenta se comenzaron a presentar los primeros indicios de una transición energética que, hasta la fecha, continúa desplegándose.

Al inicio de la administración encabezada por Luis Echeverría Álvarez, la política energética se basó en lograr la autosuficiencia energética a través de las reservas de hidrocarburos recién descubiertas y la diversificación de las fuentes de energía. Sin embargo, dicho objetivo se limitó a aprovechar los recursos fósiles, al punto de abrir las posibilidades de exportación de excedentes petroleros. Tal opción resultó ser una medida viable para enfrentar la problemática económica por la que atravesaba el país y, por lo tanto, provocó un aumento desproporcionado en la producción de crudo, en la generación termoeléctrica y la postergación del aprovechamiento de fuentes de energía alternativas.

A pesar del desarrollo de la industria petrolera, PEMEX afirmaba que el crecimiento no era el suficiente para justificar técnicamente un programa de exportaciones masivas. Por el contrario, se trató de persuadir en diversas ocasiones al Ejecutivo para la elaboración de un plan basado en criterios de conservación de recursos, exploración de nuevas reservas y necesidades energéticas de largo plazo. No obstante, con la entrada del régimen de José López Portillo se acudió al petróleo como uno de los pilares del desarrollo económico, basado en una estrategia petrolera orientada a la exportación.

A principios de los años ochenta, la percepción del petróleo como "palanca de desarrollo" se revirtió debido a la caída de los precios internacionales de los hidrocarburos, el aumento en las tasas de interés y la inflación, la sobrevaluación del peso y la suspensión del pago de amortizaciones de la deuda externa. Esta situación obligó al gobierno de Miguel de la Madrid a reformar la política económica, particularmente, de la política energética.

A través del PND y el PRONE se estableció la necesidad de diversificar las fuentes de energía, fomentar el ahorro y el uso eficiente de energéticos, e incrementar la productividad del sector. Para finales de la década, se alcanzó una mayor participación de fuentes alternativas para la generación de energía eléctrica por parte de la energía hidroeléctrica (29.8%), del carbón (3.2%), la geotermia (2.8%) y la nuclear (2.7%).

No obstante, a partir de la administración de Carlos Salinas de Gortari, el plan energético cambió drásticamente. Se priorizó el beneficio económico, y a través del Tratado de Libre Comercio de América del Norte se inició la desregulación y liberalización de la industria eléctrica. Se estableció que las empresas estadounidenses y canadienses podrían adquirir, establecer y operar plantas de generación para autoabastecimiento, cogeneración y para vender energía a CFE. Como ratificación a dicho acuerdo, se llevó a cabo una reforma legal al sector energético en 1992, en la cual se modificó la LSPEE para determinar cuáles actividades quedarían a cargo del Estado y cuáles estarían dentro de la competencia de particulares.

Más tarde, en 1995, con el fin de modernizar la industria e impulsar el aprovechamiento de gas natural, el expresidente Ernesto Zedillo planteó una reforma estructural para expandir la infraestructura de gasoductos y acelerar el desarrollo económico del país. De esta manera, se abrió a la participación privada las actividades de almacenamiento, transporte y distribución de gas natural por medio de ductos, así como las actividades de comercio exterior y la comercialización de dicho combustible.

Ambas reformas legales (1992 y 1995) sentaron el marco jurídico necesario para iniciar una transición energética basada en la gasificación del sector eléctrico a partir de la privatización de las centrales de generación. El gas natural ha sido de una importancia fundamental en el desarrollo económico y energético, llegando a abastecer más del 50% de la demanda de electricidad a través de plantas de ciclo combinado. Sin embargo, la producción de gas natural en México se encuentra en declive desde 2008, por lo que la demanda de dicho combustible ha sido cubierta desde entonces a través de importaciones, principalmente por parte de Estados Unidos. Así, aunque se logró migrar hacia un combustible más limpio, barato y eficiente, se encuentra vulnerable la seguridad energética nacional ante la alta dependencia de combustibles extranjeros y la falta de diversificación energética.

Ahora bien, tras darse a conocer los peligros asociados al cambio climático y la necesidad de migrar hacia un sistema energético bajo en carbono, México ha desarrollado instrumentos jurídicos y de planeación en sus distintos niveles políticos, así como, ha adquirido compromisos internacionales en materia ambiental y energética.

Dentro del marco jurídico, se incorporó en 2012 la LGCC la cual tiene como objetivo regular las emisiones de GEI para evitar interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Para ello se determinaron metas de reducción de emisiones: 30% y 50% con respecto a las emisiones

emitidas en 2000, para el año 2020 y 2050, respectivamente. Además, se determinó la necesidad de generar un sistema de subsidios que promuevan el uso de combustibles no fósiles, la eficiencia energética y el transporte público sustentable. En materia de mitigación se busca fomentar la eficiencia energética, el uso de fuentes renovables de energía, la construcción de edificaciones sustentables y generar cambios en los patrones de conducta, consumo y producción.

Por otro lado, tras la Reforma Energética de 2013, se publicó en 2015 LTE con el objetivo de regular el aprovechamiento sustentable de la energía, establecer obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes en la industria eléctrica. Uno de los puntos más notables de la LTE, es la definición de energías limpias, la cual hace referencia a la LIE e incluye a las energías renovables, así como a la energía generada por el aprovechamiento del metano, la energía nucleoelectrónica, centrales de cogeneración, entre otras tecnologías. Es decir, la definición admite un gran número de fuentes de energía contaminantes que contribuyen a lo que, teóricamente, se busca mitigar.

Otro rasgo importante de la LTE, de acuerdo con lo establecido en la LIE, es la incorporación de los Certificados de Energías Limpias, instrumentos de mercado con los cuales se busca fomentar el crecimiento de este tipo de energías en la generación de energía eléctrica. La LIE obliga a adquirir estos certificados a los suministradores, usuarios calificados y usuarios finales que reciban energía por abasto aislado cuya energía no provenga en su totalidad de una central eléctrica limpia.

Por otra parte, de forma más particular y bajo el régimen jurídico antes mencionado, se desarrollan periódicamente distintas herramientas de planeación que reflejan la estrategia de cada gobierno para enfrentar la problemática energética y ambiental. En primer lugar, el Plan Nacional de Desarrollo actual establece el objetivo de rescatar el sector energético a través de las Empresas Productivas del Estado para que puedan volver a intervenir como palancas de desarrollo nacional. Así mismo, con el fin de fortalecer la seguridad energética, se plantea la rehabilitación de las refinerías existentes y la construcción de una nueva refinería. El desarrollo sustentable únicamente se promueve a través de la dotación a pequeñas comunidades aisladas de fuentes de fuentes renovables cuya producción les dote energía eléctrica.

Derivado del PND, se emite el PROSENER, el cual plantea seis objetivos prioritarios, de los cuales destacan el objetivo número uno, el cual pretende alcanzar y mantener la autosuficiencia energética sostenible a través del desarrollo de proyectos de energías renovables; el objetivo número tres, que busca organizar las capacidades científicas, tecnológicas e industriales necesarias para el despliegue

de la transición energética en México a través de la cooperación internacional y los diferentes institutos de investigación; y el objetivo número cuatro, el cual propone elevar la eficiencia y sustentabilidad en la producción y uso de energía mediante la diversificación energética y la implementación de medidas de eficiencia y rendimiento energético.

Bajo el marco de la LTE, se emitió la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, la cual define una hoja de ruta para implementar las metas de eficiencia energética y energías limpias; reducir las emisiones contaminantes y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. En la versión más reciente de la Estrategia se planteó la visión de una TES, es decir, una industria nacional diseñada por los sectores público, social y privado del país, que contribuya a la seguridad energética, al acceso total a las tecnologías de punta, a menores costos, mayor calidad de vida y menor desigualdad social.

Producto de la LGCC, se publica ENCC, cuyo objetivo es actuar como instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo para enfrentar los efectos del cambio climático. Además, establece las líneas de acción a seguir para orientar las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático establecidas en la Ley. A la fecha, no se ha publicado la versión actualizada de dicha Estrategia por parte del presente Gobierno, sin embargo, se espera refleje los intereses y objetivos de este.

Ahora bien, en materia internacional, México ha destacado en su participación en las distintas Convenciones, Cumbres y Acuerdos en materia energética y ambiental. Entre ellos destacan la UNFCCC, el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. En primer lugar, la UNFCCC entró en vigor en 1994, y compromete a México a realizar acciones de mitigación del cambio climático, integrar inventarios de emisiones de GEI e informar periódicamente sobre las medidas que se están adoptando y avances logrados a nivel nacional. Derivado de la UNFCCC, en el año 2000 se ratificó el Protocolo de Kioto, el cual estableció metas específicas para la reducción de emisiones de GEI y una serie de mecanismos de mercado para facilitar el cumplimiento de dichos compromisos y promover el desarrollo sustentable en los países en desarrollo.

Finalmente, como sustituto al Protocolo de Kioto, en 2016 se aprobó el Acuerdo de París, el cual fijó como principal objetivo mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales. Bajo este Acuerdo, México se comprometió a reducir incondicionalmente un 25% sus emisiones de GEI para el año 2030; dicho

compromiso pudiera llegar hasta un 36% si se presenta un precio internacional de carbono justo, ajustes fiscales para el carbono, cooperación técnica, entre otras condiciones. Adicionalmente, bajo el contexto de la Agenda 2030 y los ODS, México se ha comprometido a producir 37.7% de la energía eléctrica con fuentes limpias para 2024, reducir anualmente la intensidad energética en un 1.9% para el periodo de 2016-2030, y duplicar la inversión gubernamental en innovación y desarrollo tecnológico para energías limpias.

Sabiendo los compromisos y metas adquiridas en materia energética y ambiental, así como el marco jurídico y de planeación que dirigen las acciones hacia tales objetivos, considero imperioso preguntar: ¿Nos hemos acercado al cumplimiento de estos? ¿Cuáles han sido nuestros avances y retrocesos? ¿Ha sido suficiente? Dichas preguntas obligan a evaluar la situación actual, tomando como partida la Reforma Energética de 2013. A partir de esta, se llevó a cabo una reestructuración en el sector que permitió la entrada de empresas privadas a las actividades de producción y distribución de hidrocarburos con el fin de aminorar el declive de la producción de PEMEX. Actualmente, la producción, tanto de petróleo como de gas natural, continúa en descenso.

Por otro lado, la LTE en conjunto con la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios estableció importantes metas de participación de energías limpias en la generación eléctrica total. Sin embargo, al 2017, el SEN depende en gran medida de los combustibles fósiles, con 72% de la capacidad instalada, en mayor proporción por el uso de gas natural en plantas de ciclo combinado y tan sólo un 24% corresponde a energías renovables.

Respecto a la reducción de emisiones de GEI, en 2019 México ocupó el décimo tercer lugar de los países más emisores, con el 1.28% de las emisiones globales. De acuerdo con los datos del INEGI, las emisiones continúan aumentando, siendo el transporte y la generación de energía eléctrica los sectores que más contribuyen. En resumen, a pesar de los esfuerzos, las metas, tanto de energías limpias como de reducción de emisiones, se hallan cada vez más lejanas de satisfacerse.

Tales resultados han sido detectados por diversas instancias, que a su vez, han emitido recomendaciones que pudieran servir de guía para solventar ciertas deficiencias en las políticas públicas en materia energética y ambiental, como la eliminación de subsidios perjudiciales para el medio ambiente, la falta de una política sistemática que asigne objetivos y acciones específicas a las autoridades, la ausencia de un sistema de seguimiento y control a las acciones de mitigación y adaptación contenidas en los instrumentos de planeación, la carencia de información pública gubernamental para hacer frente al cambio climático, falta de implementación de la política

climática general, entre otras recomendaciones. En conclusión, tanto las estadísticas como las evaluaciones nacionales e internacionales en materia, demuestran que la legislación actual y su obligatoriedad no han sido suficientes y que su cumplimiento ha retrocedido a optativo.

En consecuencia, es fundamental identificar la incoherencia entre la política energética y la política ambiental con el fin de integrarlas y dirigir las hacia un mismo objetivo. Iniciando con el conjunto de leyes y estrategias que trajo consigo la Reforma Energética, es posible identificar que, por una parte, se buscaba impulsar la transición hacia un sistema energético bajo en carbono, pero por otra, se brindaban evidentes ventajas políticas para los proyectos de hidrocarburos. Además, debido a la definición de energías limpias establecida en la LIE, se instauró que la meta de energías limpias de 2024, fuese cubierta con la participación de las fuentes renovables y del gas natural. De esta manera, no solo se define a un combustible fósil como limpio, sino que, además, se vulnera la seguridad energética debido al declive en la producción nacional de gas natural y, por lo tanto, se incrementa la dependencia a las importaciones de dicho recurso.

El incumplimiento de la ley no solo se ha llevado a cabo en el ámbito público, sino también en el privado (quienes desde el principio se opusieron a la iniciativa de la LTE, que, aunque estableció la obligación a las industrias de generar el 5% de su energía por medio de fuentes limpias, de manera simultánea se impusieron condiciones que permitieron a la industria postergar y no cumplir con la totalidad de sus compromisos.

Ahora bien, tras la entrada de la nueva administración encabezada por Andrés Manuel López Obrador, las prioridades han cambiado nuevamente. De acuerdo con el PND 2019-2024, el principal objetivo, energéticamente hablando, es recuperar el sector a través de las Empresas Productivas del Estado. En consecuencia, se cancelaron las subastas de energía eléctrica de largo plazo y se debilitó el mercado de CEL, es decir, se puso fin a los principales mecanismos de promoción de proyectos de energía renovable a gran escala.

Tal como en la década de los años ochenta, el actual gobierno considera a PEMEX como la palanca del desarrollo nacional, por lo que la política energética se ha dirigido hacia el aprovechamiento de los derivados del petróleo con acciones como la construcción de una nueva refinería, la cual ha sido justificada como una estrategia a favor de la seguridad energética. Sin embargo, tal argumento resulta discordante cuando no se han desarrollado acciones para contrarrestar la alta dependencia al gas natural estadounidense.



Por otra parte, en mayo de 2020, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) publicó un acuerdo que buscaba la suspensión de pruebas operatorias a aquellas empresas que generan electricidad a través de plantas fotovoltaicas y eólicas, con lo que se otorgaba prioridad en el despacho de energía a las plantas pertenecientes a CFE. Y aunque dicho acuerdo fue suspendido definitivamente por parte del Poder Judicial, a principios del presente año, el presidente entregó a la Cámara de Diputados una iniciativa que modifica y adiciona diversas disposiciones de la LIE que, en caso de aprobarse, provocaría consecuencias similares a las del Acuerdo emitido por el CENACE.

A partir de todo esto, es posible concluir que en México nunca se ha tomado con verdadera seriedad el tema del cambio climático y, por ende, tampoco el desarrollo y despliegue de una transición energética hacia un sistema diversificado y bajo en carbono. En primer lugar, las políticas energéticas planteadas por el Gobierno Federal pasado y actual promueven el uso de combustibles fósiles y desincentivan o impulsan endeblemente el uso de las fuentes renovables. Ahora bien, aunque existen diversos acuerdos y tratados internacionales que vinculan al país a atender problemas globales, tales como el cambio climático, se identifica que a nivel nacional existen complicaciones burocráticas, administrativas, presupuestales y de conflicto de interés que limitan la promoción de políticas coherentes con los compromisos globales.

Respecto al objetivo de impulsar el desarrollo económico basado en los recursos petroleros, lo encuentro arriesgado. Por un lado, como se pudo comprobar anteriormente, los datos de la producción nacional de hidrocarburos demuestran que, a pesar de los intentos de la Reforma Energética, la era del petróleo “fácil y barato” ha llegado a su fin; no hay evidencia técnica ni económica sobre la factibilidad de restituir las reservas probadas con los recursos prospectivos con que cuenta el país y, por lo tanto, la posibilidad de garantizar la seguridad energética sobre la base petrolera es cada vez menor. De continuar con el modelo energético extractivo, insostenible y ambientalmente perjudicial, no solo se vulnera la seguridad energética, sino también la economía del país, la salud pública y los escasos esfuerzos frente al cambio climático.

Por consiguiente, infiero que el primer y más grande reto del sector y para el gobierno actual y posteriores es entender que la transición energética es una necesidad que supera la visión individual de un país, de poder y voluntad política; se ha vuelto un asunto de justicia, de cooperación, intercambio y aprovechamiento tecnológico global. Particularmente para México, la transición energética no solo conlleva la transformación hacia la sustentabilidad, sino una transición socio – técnica que requiere la reconfiguración del sistema energético incluyendo la tecnología,

infraestructura, políticas públicas, mercados, inversiones, regulaciones, patrones de consumo, entre otras variables que afectan el despliegue de la transición.

La transición energética que México requiere debe clarificar los roles y obligaciones de quienes tienen responsabilidades de ello. Dicho brevemente, el Estado tendría que proveer seguridad energética con una visión de largo plazo y contraponiendo la mitigación y adaptación al cambio climático; PEMEX debiera ampliar su giro hacia la industria de la energía; a la CFE le correspondería fungir como el vehículo de la transición hacia las energías renovables; y el Congreso necesita urgentemente dejar atrás ideologías e intereses políticos de corto plazo para apostar a la opción más redituable para el país. Asimismo, es indispensable mencionar que existe una gran necesidad de profundizar en la tecnología disponible para llevar a cabo una transición energética. Para ello, es indispensable moderar la importación de tecnología e infraestructura con la necesidad de aprendizaje y desarrollo de acuerdo con nuestras propias necesidades.

Finalmente, es preocupante que, aunque la administración previa y actual asegure la publicidad y transparencia en sus procesos, los ciudadanos no tengan conocimiento de los daños que podrían causar los fenómenos asociados al cambio climático. Considero fundamental garantizar que la población en general cuente con el conocimiento necesario en relación con el cambio climático y, así, tengan oportunidad de colaborar activamente en el diseño e implementación de medidas de adaptación y mitigación. Es decir, los ciudadanos conscientes e informados serán capaces de exigir responsabilidad por parte de las autoridades para la adopción de decisiones.

## CONCLUSIONES

---

Derivado de esta investigación, es posible destacar una serie de hallazgos interesantes, pero sobre todo útiles para la academia, así como para los responsables de elaborar la política energética nacional. En cuanto a la definición de transición energética, considero adecuado establecerla como un proceso integral y sistemático que involucra los cambios técnicos, tecnológicos, económicos, financieros, políticos, sociales y ambientales necesarios para migrar de un sistema energético basado en un o una serie de recursos a uno diferente. La naturaleza de esta transformación es gradual, sin embargo, constante; es decir, no es posible encontrar cambios inmediatos, por el contrario, estos se presentan de manera tenue pero continuos.

Dichas cualidades de la transición energética son comprobables gracias al estudio de estas a través de la historia de la humanidad. Se han determinado tres enfoques bajo los cuales se lleva a cabo el cambio del sistema energético: la sustitución de un recurso debido a su escasez o ineficiencia, la transición energética multidimensional y, de acuerdo con las tendencias, la adopción de un sistema basado en la generación de energía eléctrica. Dicho esto, es posible determinar que la transición energética bajo mi estudio (1970-2050), se encuentra bajo estas tres perspectivas.

Por un lado, el origen de la transición se debe al declive internacional de la producción de petróleo y a que su uso desmedido ha dejado de ser eficiente para la salud humana y el medio ambiente. En consecuencia, la transición que se pretende desplegar se caracteriza no solo por buscar un sistema energético diversificado y bajo en carbono, sino por tratar de establecer un cambio en el modelo de desarrollo, el cual sea redituable, justo, consciente y al alcance de todos. Dadas las necesidades de la transición energética actual, queda claro que se trata de un cambio profundo y complejo que, más allá de una sustitución de tecnología o recursos, involucra un proceso de participación conjunta entre el desarrollo de tecnología, ciencia, economía, política, ecología y patrones de consumo responsables, así como la sinergia entre la demanda y la oferta, el Estado y la sociedad, lo público y lo privado.

Retomando los orígenes de la transición energética, hallo fundamental aclarar que, a pesar de ser el petróleo la base del suministro energético actual, su agotamiento es inevitable ya que se trata de un recurso finito y no renovable que, además, está forzado a cubrir una demanda desmesurada. La cada vez más endeble restitución de reservas, el declive de la producción a nivel internacional y los

grandes esfuerzos por desarrollar tecnología capaz de incrementar el factor de recuperación de los yacimientos son prueba de la necesidad de migrar a una base energética diferente.

La distribución geográfica de las reservas del petróleo ha dejado bajo control de muy pocos uno de los recursos más codiciados del mundo. Por lo tanto, se considera una fuente de energía estratégica y capaz de generar incertidumbre geopolítica. Tal fue el caso de la crisis petrolera en 1973, durante la cual los países pertenecientes a la OPEC provocaron un disparo en los precios del petróleo y decidieron cesar las exportaciones de varios países dependientes de sus hidrocarburos. Dicha situación permitió ver la fragilidad de la seguridad energética, las graves repercusiones de las circunstancias políticas sobre el sistema energético de un país poco diversificado e iniciar la búsqueda de fuentes alternativas al petróleo.

Efectivamente, se encontraron distintas formas de hacer frente a la OPEC. Entre ellas destaca la participación de Estados Unidos y el desarrollo de los recursos no convencionales, principalmente el shale gas. A pesar del gran auge que ha tenido este tipo de combustible, es importante señalar que en él no se encuentra una solución para el largo plazo. En primer lugar, se trata de un combustible fósil, el cual se caracteriza por encontrarse en cantidades finitas y ser no renovable, por lo que, indiscutiblemente, la producción, así como las reservas se terminarán, sobre todo considerando el creciente volumen que representa de la demanda. De manera similar al petróleo, las reservas de shale gas se encuentran concentradas en lugares establecidos, por lo que su control queda en manos de muy pocos. Dicho en otras palabras, no debiera considerarse la producción de shale gas como una medida para fortalecer la seguridad energética de cada país; por el contrario, podría representar un retraso a la adopción de recursos particulares de cada región. Finalmente, el shale gas es otro tipo de hidrocarburo, por lo que su combustión es responsable de altas cantidades de gases de efecto invernadero y otro tipo de contaminantes nocivos para la salud y el medio ambiente. Además, particularmente los métodos de recuperación de este tipo de gas natural, requieren de grandes volúmenes de agua, por tanto, su explotación compromete la disponibilidad de este recurso para usos verdaderamente indispensables.

Si bien la explotación del gas natural convencional y de lutitas es una medida provisional que ha permitido el crecimiento de la energía eléctrica en la matriz energética internacional y que, además, podría catalogarse como un combustible menos contaminante si se compara con el petróleo o el carbón. No obstante, debido a su naturaleza, sus implicaciones sobre la seguridad energética y ambiental, su uso no debe ser considerado la nueva base del sistema energético. En todo caso,

podría formar parte de la transición de una matriz basada en combustibles fósiles hacia una diversificada en la que se encuentre el correcto equilibrio entre las energías renovables, la energía nuclear, los combustibles fósiles, un alto grado de electrificación de los sectores económicos, el despliegue intensivo de medidas de eficiencia energética y una población concientizada respecto a su consumo.

Entre las características de la actual transición energética, se destaca el sentido de urgencia de migrar a un sistema capaz de contribuir de forma positiva a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, dicha premura resulta innecesaria ya que la investigación comprueba que, al menos, desde la década de los setenta se ha venido pronosticando el severo daño a los recursos naturales y a la calidad de vida de gran parte de la población debido a las tendencias de consumo masivas y al crecimiento desproporcionado.

En distintas ocasiones, la ONU con el apoyo de organismos, como el IPCC, ha buscado concientizar sobre dicho comportamiento, los efectos negativos sobre el entorno y la responsabilidad propia de cada nación. El IPCC, por su parte, ha realizado desde 1990 evaluaciones y reportes cada vez más concluyentes acerca de la influencia humana sobre el sistema climático, destacándose el sector energético como uno de los más contaminantes primordialmente por la excesiva quema de carbón, petróleo y gas natural.

Conscientes del daño provocado por los modelos de desarrollo económico y el uso masivo de energía que estos implican, el mundo ha asumido distintos grados de responsabilidad, así como de actuación. Algunos países han sido vinculados a su responsabilidad con el medio ambiente mediante Acuerdos Internacionales, a través de distintos Programas comprometidos con la preservación del entorno pertenecientes a las Naciones Unidas. Adicionalmente, alrededor del mundo y en muy diversas magnitudes, se han impulsado nuevas tecnologías, como el uso de las fuentes renovables en la generación de energía eléctrica y la implementación de vehículos eléctricos; reformas políticas y económicas, con el objetivo de disminuir la inversión en combustibles fósiles o de reemplazar los modelos actuales de producción por aquellos que toman en consideración las variables ambientales y sociales.

Ciertamente las estrategias y acciones en contra del cambio climático y a favor de la transición energética han sido propuestas y, en varios casos, implementadas. No obstante, los resultados no concuerdan con lo necesario para asegurar la preservación del medio ambiente ni la calidad de vida humana. Es importante recordar que cualquier cambio al sistema energético requiere una gran

disponibilidad de recursos económicos, naturales y humanos, por lo que suelen ser proyectos de mediano y largo plazo. Sin embargo, la actual disposición y escasa inmediatez de actuar por parte de muchas naciones, principalmente los grandes contaminantes, no solo hace evidente sus verdaderos intereses, sino que reduce la ventana de oportunidad para lograr cambios efectivos.

Los Acuerdos Internacionales han dejado al criterio y voluntad de cada país las acciones y su alcance. Se han respaldado tras la promoción de combustibles fósiles “limpios” o bajo el argumento de que las acciones para mitigar el cambio climático son económicamente destructivas y ambientalmente insignificantes. Dicho en otras palabras, la transición energética se encuentra liderada por los intereses y opiniones particulares de la industria y del libre comercio, lo cual resulta inadmisibles tratándose de una amenaza al bienestar de las presentes y futuras generaciones, cuyos efectos son irreversibles, graves y desiguales.

Encuentro a la transición energética parte fundamental de la solución a la escasez de recursos y al cambio climático. Dada su importancia y magnitud, se requiere de instrumentos de planeación con objetivos reales, responsabilidades correctamente designadas y un sistema de verificación, control y/o sanción para las naciones que no cumplan con lo acordado. Es indispensable encontrar una matriz energética diversificada y equilibrada basada en la extracción sostenible de combustibles fósiles, mediante la implementación de normas de eficiencia energética a lo largo de toda su cadena de valor, así como el despliegue de energías alternativas tales como las renovables y la nuclear. Además de la transformación tecnológica, la transición energética implica una reestructuración del sistema económico, con el fin de romper la correlación entre el desarrollo económico y el consumo de energía, junto con una concientización de la población, con la intención de cambiar los patrones de consumo excesivos por el empleo consciente, eficiente y responsable de la energía.

El caso particular de México se caracteriza por haber estado postergando el aprovechamiento de fuentes de energía alternativas desde los años setenta, debido al interés de basar el desarrollo económico y el cumplimiento de la demanda energética a través de la explotación de las reservas de hidrocarburos nacionales. Es posible considerar que tras las reformas legales de 1992 y 1995 en materia energética, se sentaron los términos necesarios que dan lugar a la matriz energética actual, es decir, un sistema de generación eléctrica basado primordialmente en el empleo de gas natural, cuya producción se mantiene en declive desde 2008. Lo que ha dejado a gran parte de la demanda energética nacional vulnerable y subordinada a las importaciones, principalmente de origen estadounidense.

Consciente de contar con una matriz energética basada en la quema de combustibles fósiles y en concordancia con los compromisos internacionales adquiridos, México ha desarrollado instrumentos jurídicos con el objetivo de impulsar la transición energética a lo largo de los sectores económicos. Así mismo, a través de instrumentos de planeación, cada gobierno tiene la obligación de presentar sus objetivos y estrategias para enfrentar la problemática energética y garantizar el cumplimiento de los compromisos internacionales. Sin embargo, la evaluación de los resultados muestra un avance insuficiente y metas lejanas de satisfacerse.

Es posible atribuir tales resultados, entre otras cosas a la incoherencia que existe entre la política energética y la política ambiental. Por un lado, la Reforma Energética aparentemente buscaba impulsar la transición hacia un sistema bajo en carbono, sin embargo, las leyes y estrategias que trajo consigo brindaron ventajas políticas y económicas a los proyectos de hidrocarburos, así como condiciones que permitieron postergar la generación de energía mediante fuentes limpias.

Por otro lado, bajo la administración del presidente Andrés Manuel López Obrador, se estableció como principal objetivo la recuperación del sector energético. Dicho propósito provocó la cancelación de los, de por sí escasos, mecanismos de promoción de energía renovable; se inició la construcción una nueva refinería bajo el argumento de ser una estrategia en favor de la seguridad energética; y se ha buscado establecer prioridad en el despacho de energía a las plantas pertenecientes a la CFE.

Con base en todo lo anterior, es posible deducir que en México el cambio climático, el desarrollo sustentable y la transición energética son temas que nunca se han tomado con verdadera seriedad. Actualmente, las políticas energéticas se basan en la promoción de los combustibles fósiles, y aquellas que buscan impulsar las fuentes alternativas resultan endebles e insuficientes. Por lo tanto, se reconoce que la implementación de la política climática se enfrenta a complicaciones burocráticas, administrativas, presupuestales y de conflicto de interés.

Considero que continuar con un proyecto de desarrollo económico basado en la explotación de los recursos petroleros resulta arriesgado. Por un lado, la producción nacional demuestra que, a pesar del desarrollo tecnológico y las intenciones de la Reforma Energética, el petróleo “fácil y barato” ha llegado a su fin. Por otro lado, hoy en día, no existe evidencia técnica ni económica sobre la factibilidad de restituir las reservas probadas con los recursos prospectivos del país, lo que vuelve complicado garantizar la seguridad energética sobre la base petrolera. De continuar con el modelo energético extractivo, insostenible y ambientalmente perjudicial, no solo se vulnera la seguridad

energética, sino también la economía del país, la salud pública y los escasos esfuerzos frente al cambio climático.

En conclusión, encuentro fundamental que el gobierno actual y futuro asimile la transición energética como una necesidad que supera la visión individual del país; se trata de un asunto de urgencia, justicia y cooperación. Además, es valioso saber que el despliegue de la transición no solo es una medida contra el cambio climático, sino una forma de hacer frente al declive de la producción de hidrocarburos, diversificar las fuentes de energía y fortalecer la seguridad energética.

Para la aceleración de la transición es necesario señalar los roles y obligaciones de los principales actores: el Estado tendría que proveer seguridad energética con una visión de largo plazo y contraponiendo la mitigación y adaptación al cambio climático; PEMEX debiera ampliar su giro hacia la industria de la energía; a la CFE le correspondería fungir como el vehículo de la transición hacia energías alternativas; el Congreso necesita urgentemente dejar atrás ideologías e intereses políticos de corto plazo para apostar a la opción más redituable para el país; la academia necesita profundizar en el desarrollo de conocimiento, capital humano y tecnología de acuerdo con las necesidades particulares del país. Finalmente, es imprescindible difundir y asegurar la disponibilidad de la información respecto al cambio climático, sus efectos y las medidas para hacerle frente. Solo así, se contará con ciudadanos conscientes e informados capaces de exigir responsabilidad por parte de las autoridades, soluciones, estrategias y resultados.



## REFERENCIAS

---

- [1] Abellán López, M. A. (2021). El cambio climático: negacionismo, escepticismo y desinformación. *Tabula Rasa*, 37, 283–301. <https://doi.org/10.25058/20112742.n37.13>
- [2] Acosta A. (2011, 30 mayo). La crisis energética y las energías alternativas. *Instituto de Estudios en Regulación Minera, Petrolera y Energética*. <https://www.uexternado.edu.co/wp-content/uploads/2017/01/crisisEnergeticaEnergiasAlternativas.pdf>
- [3] Anderson, B., y Torriti, J. (2018). Explaining shifts in UK electricity demand using time use data from 1974 to 2014. *Energy Policy*, 123, 544-557. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.025>
- [4] Anglés Hernández, M. (2020). La transición energética en México: un objetivo de largo plazo. En F. Huber (Ed.), *Crisis climática, transición energética y derechos humanos*. (pp. 395–408). Heidelberg Center para América Latina.
- [5] Araújo, K. (2014). The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. *Energy Research & Social Science*, 1, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.002>
- [6] Arcos Vargas, A., Maza Ortega, J., y Núñez Hernández, F. (2018). *Propuestas para el fomento de la movilidad eléctrica: Barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar*. Real Academia de Ingeniería de España.
- [7] Arezki, R. (2017). Hoja de ruta. *Finanzas & Desarrollo*, 54(4), 14–17. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2017/12/pdf/fd1217s.pdf>
- [8] Ayling, J., y Gunningham, N. (2015). Non-state governance and climate policy: the fossil fuel divestment movement. *Climate Policy*, 17(2), 131–149. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1094729>
- [9] Barbosa, A. (2018, 13 julio). *Cambios a la Ley General de Cambio Climático*. Información Dinámica de Consulta. <https://idconline.mx/corporativo/2018/07/13/cambios-a-la-ley-general-de-cambio-climatico>
- [10] Bárcena, A. (2015, mayo). *China y América Latina: diversificación es la palabra clave*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/articulos/2015-china-y-america-latina-diversificacion-es-la-palabra-clave>

- [11] Bardi, U. (2019). Peak oil, 20 years later: Failed prediction or useful insight? *Energy Research & Social Science*, 48, 257-261. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.09.022>
- [12] Barra González, J. (2020). *Estrategia Nacional de Electromovilidad en el Sector Transporte de Chile*. (Tesis de maestría) Santiago, Chile: Universidad del Desarrollo. <https://repositorio.udd.cl/bitstream/handle/11447/3814/Estrategia%20Nacional%20de%20Electromovilidad%20en%20el%20sector%20transporte%20de%20Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] Barrueta, E. (2019, 13 mayo). *Riqueza olvidada de los campos no convencionales*. Energía a Debate. <https://www.energiaadebate.com/petroleo/riqueza-olvidada-de-los-campos-no-convencionales/>
- [14] Behrouzifar, M., Siami Araghi, E., y Emami Meibodi, A. (2019). OPEC behavior: The volume of oil reserves announced. *Energy Policy*, 127, 500-522. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.037>
- [15] Bennett, S. J. (2012). Using past transitions to inform scenarios for the future of renewable raw materials in the UK. *Energy Policy*, 50, 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.073>
- [16] Bentley, R., y Bentley, Y. (2015). Explaining the price of oil 1971–2014: The need to use reliable data on oil discovery and to account for ‘mid-point’ peak. *Energy Policy*, 86, 880-890. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.028>
- [17] Bielecki, A., Ernst, S., Skrodzka, W., y Wojnicki, I. (2020). The externalities of energy production in the context of development of clean energy generation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(11), 11506–11530. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07625-7>
- [18] Bilgili, F., Koçak, E., Bulut, Ü., y Sualp, M. N. (2016). How did the US economy react to shale gas production revolution? An advanced time series approach. *Energy*, 116, 963-977. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.056>
- [19] Braungardt, S., van den Bergh, J., y Dunlop, T. (2019). Fossil fuel divestment and climate change: Reviewing contested arguments. *Energy Research & Social Science*, 50, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.12.004>
- [20] Brecha, R. J. (2008). Emission scenarios in the face of fossil-fuel peaking. *Energy Policy*, 36(9), 3492-3504. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.05.023>

- [21] Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M., y Eyre, N. (2013). Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. *Energy Policy*, 53, 331-340. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>
- [22] British Petroleum. (2020). *bp Statistical Review of World Energy 2020* (No. 69). <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- [23] Cabrera Medaglia, J. A. (2003). El impacto de las declaraciones de Río y Estocolmo sobre la legislación y las políticas ambientales en América Latina. *Revista de Ciencias Jurídicas*, 100, 301-331. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/juridicas/article/download/13406/12668/>
- [24] Calvente, A. M. (2007, junio). *El concepto moderno de sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana Sustentabilidad. <http://sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/UAIS-SDS-100-002%20-%20Sustentabilidad.pdf>
- [25] Campbell, C. J. (2015). Oil Age: Energy in Transition. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 165-171. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-097086-8.91085-7>
- [26] Campos, M. (2010). Economía verde. *Éxito Empresarial*, 151, 1–4. [http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion\\_151\\_060611\\_es.pdf](http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_151_060611_es.pdf)
- [27] Canada. Natural Resources Canada. CANMET Energy Technology Centre. (2008). CCTRM-Canada's Clean Coal Technology Roadmap. <https://www.nrcan.gc.ca/energy/energy-sources-distribution/coal-and-co2-capture-storage/clean-coal/canadas-clean-coal-technology-roadmap/4283>
- [28] Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible. (2014). IPCC – Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade3bc14168b.pdf>
- [29] Carlin, D. (2021, 20 febrero). *The case for fossil fuel divestment*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/davidcarlin/2021/02/20/the-case-for-fossil-fuel-divestment/?sh=5247ba7d76d2>
- [30] Carmona Lara, M. C. (2012). Río +20: Reflexiones en torno a la institucionalización y gestión de la procuración de justicia ambiental en México. En *20 años de procuración de justicia ambiental en México* (pp. 25–48). Instituto de Investigaciones Jurídicas. <http://ru.juridicas.unam.mx/xmlui/handle/123456789/12082>

- [31] Carrillo Bañuelos, J. A. (2019, 23 septiembre). *¿Por qué está fallando la política nacional de cambio climático?* Derecho en acción. <https://derechoenaccion.cide.edu/por-que-esta-fallando-la-politica-nacional-de-cambio-climatico/>
- [32] Castillo Tejero, C. (1974). La política en materia de energéticos del gobierno de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, XXVI, 393–398.
- [33] Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. (2013, junio). *Estrategia Nacional de Cambio Climático* (IESCEFP/025 2013). Cámara de Diputados. <https://cefp.gob.mx/indicadores/gaceta/2013/iescefp0252013.pdf>
- [34] Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2020, enero). *Impacto económico del cambio climático en México*. Cámara de Diputados. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/62Cambio%20Clim%C3%A1tico%20A.pdf>
- [35] Centro Mario Molina. (2017). *30 Aniversario del Protocolo de Montreal*. <https://centromariomolina.org/30-aniversario-del-protocolo-de-montreal/>
- [36] Centro Nacional de Control de Energía. (2020). *Energía generada por tipo de tecnología*. Gobierno de México. <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Reportes/EnergiaGeneradaTipoTec.aspx>
- [37] Climate Change Performance Index. (2020, 6 diciembre). *CCPI Countries and Rankings: Mexico*. <https://ccpi.org/country/mex/>
- [38] Collomb, J. (2014). *The Ideology of Climate Change Denial in the United States*. *European journal of American studies*, 9(1), 1–20. <https://doi.org/10.4000/ejas.10305>
- [39] Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2021). *Tablero de producción de petróleo y gas*. <https://produccion.hidrocarburos.gob.mx/>
- [40] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2018, 26 abril). *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estrategia-de-transicion-para-promover-el-uso-de-tecnologias-y-combustibles-mas-limpios-2016?state=published>
- [41] Covi, G. (2015). Puzzling Out the First Oil Shock. History, Politics and the Macroeconomy in a Forty-Year Retrospective. *History of Economic Thought and Policy*, 2, 57-91. <https://doi.org/10.3280/spe2015-002004>
- [42] De la Balze, F. (2012). Petróleo, gas natural y geopolítica. *Estudios Internacionales*, 44(173), 155–168. <https://www.jstor.org/stable/24311814>

- [43] Dual Citizen LLC. (2016). *The Global Green Economy Index 2016*. <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=2372&menu=1515>
- [44] Echave Palacios, J. (2016). *El desarrollo económico de China*. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/20629/TFG%20desarrollo%20economico%20de%20China%20Deposito.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [45] El Independiente y ENAGÁS. (2017, 21 diciembre). *El papel del gas natural en la transición energética*. El Independiente. <https://www.elindependiente.com/economia/2017/12/21/el-papel-del-gas-natural-en-la-transicion-energetica/>
- [46] Expansión. (2019, 6 mayo). *Europa reduce su dependencia energética de Rusia gracias a EU*. Expansión. <https://expansion.mx/economia/2019/05/06/europa-reduce-su-dependencia-energetica-de-rusia-gracias-a-eu>
- [47] Expansión. (2020, 20 enero). *NY y Londres lanzan guía para desinvertir en combustibles fósiles*. Expansión. <https://expansion.mx/economia/2020/01/20/alcaldes-ny-londres-piden-detener-inversiones-petroleo>
- [48] Forbes. (2020, 4 noviembre). *Estados Unidos se retira oficialmente del Acuerdo de París sobre el clima*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/mundo-estados-unidos-se-retira-oficialmente-del-acuerdo-de-paris/>
- [49] Foro Nuclear. (2020, 8 junio). *¿Cómo se gestionan los residuos radiactivos?* Foro de la Industria Nuclear Española. <https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/como-se-gestionan-los-residuos-radiactivos/>
- [50] Fouquet, R. (2009). A brief history of energy. En J. Evans & L. Hunt (Eds.), *International Handbook on the Economics of Energy* (pp. 1-19). Edward Elgar Publishing Limited.
- [51] Fouquet, R. (2010). The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service. *Energy Policy*, 38(11), 6586-6596. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.029>
- [52] Fouquet, R., y Pearson, P. J. (2012). Past and prospective energy transitions: Insights from history. *Energy Policy*, 50, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.014>
- [53] Gallastegui Zulaica, M. C. (2011). Los límites al crecimiento, el cambio climático y la innovación. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 187(752), 1159-1169. <https://doi.org/10.3989/arbor.2011.752n6011>

- [54] Geels, W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(02)00062-8)
- [55] GeoComunes. (2016, octubre). *Territorialización de la Reforma Energética: el control privado de la explotación, el transporte y la transformación energética en el noreste de México*. (No. 1). Rosa Luxemburg Stiftung. [http://geocomunes.org/Análisis\\_PDF/index.html](http://geocomunes.org/Análisis_PDF/index.html)
- [56] Green Economy Tracker. (2021). *Country progress*. Green Economy Tracker. <https://greeneconomytracker.org/>
- [57] Greenpeace. (2010). *El Negocio de la Incertidumbre: la duda es su producto*. Greenpeace España. <http://biblioteca.climantica.org/resources/1645/el-negocio.pdf>
- [58] Grübler, A. (2004). Transitions in Energy Use. En C. Cleveland (Ed.), *Encyclopedia of Energy* (Vol. 6, pp. 163–177). Elsevier Science.
- [59] Gutiérrez del Cid, A. T. (2010). La seguridad energética de la Unión Europea en el contexto del reposicionamiento geopolítico de Rusia. *Revista mexicana de política exterior*, 89, 83–122. <https://revistadigital.sre.gob.mx/images/stories/numeros/n89/03gtzdelcid.pdf>
- [60] Gutiérrez Rodríguez, R. (1989a). La política energética y su entorno macroeconómico: una evaluación del sexenio 1983–1988. *Foro Internacional*, XXX(2), 307–327. <https://forointernacional.colmex.mx/index.php/fi/article/view/1182>
- [61] Gutiérrez Rodríguez, R. (1989b). Precisiones sobre la estructura y potencialidades del sector energético de México. *Investigación Económica*, 48(188), 151–163. <https://www.jstor.org/stable/42777337>
- [62] Guzmán, O., Yúñez-Naupe, A., y Wionczeck, M. (1985). *Uso eficiente y conservación de la energía en México: Diagnósticos y perspectivas*. Colegio de México.
- [63] Haggerty, M. (2020, 29 abril). *The evolution of U.S. electricity generation capacity*. Headwaters Economics. <https://headwaterseconomics.org/economic-development/evolution-electricity-generation/>
- [64] Hall, D. (2004). External Costs of Energy. *Encyclopedia of Energy*, 2, 651–667. <https://web.csulb.edu/~dhall/Encyclopedia%20of%20Energy.pdf>
- [65] Hamilton, J. (2009). Understanding Crude Oil Prices. *The Energy Journal*, 30(2), 179-206. Retrieved February 6, 2021, <http://www.jstor.org/stable/41323239>
- [66] Hamilton, J. (2011). *Historical Oil Shocks*. National Bureau of Economic Research Working Paper Series. <https://doi.org/10.3386/w16790>

- [67] Hammond, G., y Pearson, P. J. (2013). Challenges of the transition to a low carbon, more electric future: From here to 2050. *Energy Policy*, 52, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.052>
- [68] Handl, G. (2012). *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment (1972) & Rio Declaration on Environment and Development (1992)*. United Nations. <https://www.un.org/law/avl>
- [69] Herrera, C. (2021, 3 marzo). *La política energética mexicana va en contra de la acción climática en América del Norte*. Natural Resources Defense Council. <https://www.nrdc.org/es/experts/carolina-herrera/politica-energetica-mexicana-va-accion-climatica-america-norte>
- [70] Hollmann, M. A. (2017). Construcción Histórica del actual concepto de desarrollo sostenible. Antecedentes de problemáticas socioeconómicas y ambientales. *Ciencias Administrativas*, 10, 008. <https://doi.org/10.24215/23143738e008>
- [71] Höök, M., y Tang, X. (2013). Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review. *Energy Policy*, 52, 797-809. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.046>
- [72] InfluenceMap. (2019, marzo). *Big Oil's Real Agenda on Climate Change*. InfluenceMap. <https://influencemap.org/report/How-Big-Oil-Continues-to-Oppose-the-Paris-Agreement-38212275958aa21196dae3b76220bddd>
- [73] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018a). *Evaluación Estratégica del avance subnacional de la Política Nacional de Cambio Climático*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/227>
- [74] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018b). *Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990 - 2018*. (Versión 2018) [Conjunto de datos]. <https://cambioclimatico.gob.mx/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero/>
- [75] International Atomic Energy Agency. (1976). *Gestión de desechos radioactivos*. (No. 5). IAEA. [https://www.iaea.org/sites/default/files/185\\_604644047\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/185_604644047_es.pdf)
- [76] International Energy Agency. (2018). *Electricity - Fuels & Technologies*. IEA. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>

- [77] International Energy Agency. (2020). *Global EV Outlook 2020*. IEA. [https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Global\\_EV\\_Outlook\\_2020.pdf](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Global_EV_Outlook_2020.pdf)
- [78] Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). *IPCC Second Assessment Climate Change*. IPCC. <https://archive.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>
- [79] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate Change 2001 Synthesis Report*. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR\\_syrfull\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_en.pdf)
- [80] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007 Synthesis Report*. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/06/ar4\\_syr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/06/ar4_syr.pdf)
- [81] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)
- [82] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018a). *Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC?* IPCC [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_what\\_ipcc\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_what_ipcc_es.pdf)
- [83] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018b). *History*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/about/history/>
- [84] Iranzo, J. M. (2005). Meadows, Donella; Randers, Jorgen y Meadows, Dennis, Limits to Growth: The 30-Year Update. Chelsea Green, 2004. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, 10, 231–235. <https://doi.org/10.5944/empiria.10.2005.1051>
- [85] Jakobsson, K., Bentley, R., Söderbergh, B., y Aleklett, K. (2012). The end of cheap oil: Bottom-up economic and geologic modeling of aggregate oil production curves. *Energy Policy*, 41, 860-870. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.073>
- [86] Jiménez-Beltrán, D. (2001). Diez años después de la Cumbre de Río. Dónde estamos y a dónde vamos. *Diagnósticos ambientales 1992–1997-2001*, 57–78. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/153468.pdf>
- [87] Juárez, U. (2020, 25 noviembre). *Tendría 4T que cambiar la Constitución para evitar conflictos*. Energía a Debate. <https://www.energiaadebate.com/energia-limpia/tendria-4t-que-cambiar-la-constitucion-para-evitar-conflictos/>
- [88] Kann, D. (2020, 4 noviembre). *EE.UU. sale oficialmente del Acuerdo de París: ¿qué pasa ahora?* CNN. <https://cnnespanol.cnn.com/2020/11/04/ee-uu-esta-oficialmente-fuera-del-acuerdo-climatico-de-paris-esto-es-lo-que-puede-pasar-ahora/>



- [89] Kemp, J. (2020, 11 septiembre). *Column: Global energy transition already well underway*. Reuters. <https://www.reuters.com/article/uk-global-energy-kemp-idUKKBN2621W9>
- [90] Klare, M. (2006). La geopolítica del gas natural. *Papeles de cuestiones internacionales*, 93, 49–56. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1706398>
- [91] Laguardia, J. (2020). *Cambio climático y sus impactos en el Gran Caribe*. CLACSO.
- [92] Lechtenböhmer, S., Nilsson, L., Åhman, M., y Schneider, C. (2016). Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification – Implications for future EU electricity demand. *Energy*, 115, 1623-1631. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.110>
- [93] Lescaroux, F. (2011). Dynamics of final sectoral energy demand and aggregate energy intensity. *Energy Policy*, 39(1), 66-82. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.010>
- [94] Levi, M. (1997). A model, a method, and a map: Rational Choice in Comparative and Historical Analysis. En M. I. Lichbach & A. S. Zuckerman (Eds.), *Comparative Politics: Rationality, Culture, and Structure* (pp. 19-41). Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- [95] Ley de la Industria Eléctrica. (2021, 09 septiembre). Diario Oficial de la Federación. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec\\_090321.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_090321.pdf)
- [96] Ley de Transición Energética. (2015, 24 diciembre). Diario Oficial de la Federación. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- [97] Ley General de Cambio Climático. (2020, 06 noviembre). Diario Oficial de la Federación. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_061120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_061120.pdf)
- [98] Llorente, J. (2016). *La contribución china a la remodelación del modelo económico latinoamericano*. Desarrollando Ideas. [https://ideas.llorenteycuenca.com/wp-content/uploads/sites/5/2016/03/160229\\_DI\\_CHINA\\_ESP.pdf](https://ideas.llorenteycuenca.com/wp-content/uploads/sites/5/2016/03/160229_DI_CHINA_ESP.pdf)
- [99] López Palacios, I. (2019, 22 septiembre). *Apóstoles del negacionismo*. EL PAÍS. [https://elpais.com/elpais/2019/09/18/eps/1568820907\\_023534.html](https://elpais.com/elpais/2019/09/18/eps/1568820907_023534.html)
- [100] Martínez Peniche, I. (2013). *La Economía Verde para tomadores de decisiones*. Friedrich-Ebert-Stiftung. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/10546.pdf>
- [101] McChesney, I. (1991). *The Brundtland Report and sustainable development in New Zealand*. Lincoln University and University of Canterbury. <https://core.ac.uk/download/pdf/35461353.pdf>

- [102] Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., y Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento. Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad*. Fondo de Cultura Económica.
- [103] Meadows, D., Meadows, D. y Randers, J. (1992). *Más allá de los límites del crecimiento*. Madrid: El País/Aguilar.
- [104] Mendivil, A., y Niño, G. (2016, marzo). *Una política energética sustentable: Un pendiente en México*. (No. 1/2016). Friedrich Ebert Stiftung. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/12548.pdf>
- [105] Meza Orozco, N. (2020, 13 agosto). *BP se va fuera del barril a las energías renovables*. Reporte Índigo. <https://www.reporteindigo.com/indigonomics/bp-se-va-fuera-del-barril-a-las-energias-renovables-mercado-petrolero-caida/>
- [106] Morales, I., Escalante, C., y Vargas, R. (1988). *La formación de la política petrolera en México, 1970–1986*. Colegio de México.
- [107] Motles Esquenazi, I., y Porte Barreaux, I. (2016). *El Cambio Climático y su Regulación en el Derecho Internacional*. (Tesis de licenciatura) Santiago, Chile: Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140856/El-cambio-clim%C3%A1tico-y-su-regulaci%C3%B3n-en-el-derecho-internacional.pdf?sequence=1>
- [108] Mulvaney, D. (2020). *Sustainable Energy Transitions*. New York, Estados Unidos: Springer Publishing.
- [109] National Research Council & Committee on Health Environmental and Other External Costs and Benefits of Energy Production and Consumption. (2010). *Hidden Costs of Energy: Unpriced Consequences of Energy Production and Use*. National Academies Press.
- [110] Nava Escudero, C. (2016). El Acuerdo de París. Predominio del soft law en el régimen climático. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 49(147), 99-135. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0041-86332016000300099#fn87](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0041-86332016000300099#fn87)
- [111] Noceda, M. A. (2019, 12 junio). *El fondo soberano de Noruega retira 11.000 millones de los combustibles fósiles y apuesta por las renovables*. EL PAÍS. [https://elpais.com/economia/2019/06/12/actualidad/1560355629\\_552789.html](https://elpais.com/economia/2019/06/12/actualidad/1560355629_552789.html)
- [112] Noël, J., y Clean Water Action (2016, junio). *The Chilling Effect of Oil & Gas Money on Democracy*. Clean Water Action. Clean Water Fund.

- [https://www.cleanwaterfund.org/sites/default/files/docs/publications/Money\\_in\\_Politics\\_05%2003%2016a\\_web%20-%20FINAL.pdf](https://www.cleanwaterfund.org/sites/default/files/docs/publications/Money_in_Politics_05%2003%2016a_web%20-%20FINAL.pdf)
- [113] Omran, A., y Stancati, M. (2016, 7 junio). *Saudi Arabia Approves Plan to Diversify Economy*. The Wall Street Journal. <https://www.wsj.com/articles/saudi-arabias-cabinet-approves-economic-reform-package-1465252667>
- [114] Oreskes, N., y Conway, E. (2010). *Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming* (1.a ed.). Bloomsbury Pub Plc USA.
- [115] Organization for Economic Co-operation and Development. (2003). *Nuclear Electricity Generation: What Are the External Costs?* OECD. [https://www.oecd-neo.org/jcms/pl\\_13756/nuclear-electricity-generation-what-are-the-external-costs?details=true](https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_13756/nuclear-electricity-generation-what-are-the-external-costs?details=true)
- [116] Organization for Economic Co-operation and Development. (2018). *The Full Costs of Electricity Provision*. OECD. [https://www.oecd-neo.org/jcms/pl\\_14998/the-full-costs-of-electricity-provision?details=true](https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_14998/the-full-costs-of-electricity-provision?details=true)
- [117] Ortiz Palafox, K. H. (2019). Sustentabilidad global: Principios y acuerdos internacionales. *Revista de Ciencias Sociales*, 25(4), 75–86. <https://doi.org/10.31876/rsc.v25i4.30518>
- [118] Ortiz Mantilla, M. I., y Ramírez Cabrera, V. F. (2021). Retos del gobierno ante la transición energética, 2018–2024. En *México hacia una transición energética*. (pp. 193–204). Konrad Adenauer Stiftung México. <https://www.kas.de/documents/266027/11049681/Libro+-+Energi%CC%81asRenovables.pdf/b4673a2e-d21b-2679-5600-51f096ff5e0b?version=1.0&t=1611851694347>
- [119] Park, G., Cavazzani, A., y Garza Cervera, H. (2012, 29 junio). *Un paso hacia la sustentabilidad: Ley de Cambio Climático*. The Food Tech. <https://thefoodtech.com/historico/un-paso-hacia-la-sustentabilidad-ley-de-cambio-climatico/>
- [120] Pearson, P. J., y Foxon, T. (2012). A low carbon industrial revolution? Insights and challenges from past technological and economic transformations. *Energy Policy*, 50, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.061>
- [121] Pérez, D., Gutiérrez, M. C., y Mix Vidal, R. (2019, abril). *Electromovilidad: Panorama actual en América Latina y el Caribe: Versión infográfica*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0001654>

- [122] PetroWiki. (2016, 22 marzo). *Unconventional resources of oil and gas from a geologic perspective*. <https://petrowiki.spe.org/>
- [123] Philibert, C., Podkanski, J., y International Energy Agency. (2005). *International Energy Technology Collaboration and Climate Change Mitigation. Case Study 4: Clean Coal Technologies*. Organisation for Economic Co-operation and Development. <http://www.oecd.org/environment/cc/34878689.pdf>
- [124] Piaz, A. G. (2020). Controversias por la producción de nucleoelectricidad en México. *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad*, 10(18), 1–20. <https://doi.org/10.32870/pk.a10n18.427>
- [125] Piña Navarro, C. (2020, 20 abril). *México: Una política energética atrapada en el pasado*. Heinrich-Böll-Stiftung. <https://co.boell.org/es/2020/04/20/mexico-una-politica-energetica-atrapada-en-el-pasado>
- [126] Ponce Nava, D. (2006). La participación mexicana en las negociaciones sobre cambio climático, 1988–2006. *Revista Mexicana de Política Exterior*, 78, 143–167. <https://revistadigital.sre.gob.mx/images/stories/numeros/n78/ponce.pdf>
- [127] Ponce Nava, D. (2020). Tratados internacionales, pendientes nacionales. *Derecho Ambiental y Ecología*, 82(17), 47–51. <http://www.ceja.org.mx/IMG/Revista-82.pdf>
- [128] Presidencia de la República. (2019, julio). *Plan Nacional de Desarrollo 2019 - 2024*. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019)
- [129] PricewaterhouseCoopers. (2021). *Estrategia de cambio climático*. PwC. <https://www.pwc.com/mx/es/servicios-sustentabilidad/estrategia-cambio-climatico.html>
- [130] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2019, febrero). *El Enfoque de la Agenda 2030 en Planes y Programas Públicos en México*. Recuperado de <https://www.mx.undp.org>
- [131] Rabl, A., y Rabl, V. A. (2013). External costs of nuclear: Greater or less than the alternatives? *Energy Policy*, 57, 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.028>
- [132] Ramírez Cabrera, V. F. (2019). *Electrificación del transporte: ¿por qué y cómo?* Nexos. <https://www.nexos.com.mx/?p=45309>
- [133] Ramírez Cabrera, V. F. (2020, 4 junio). *Política energética de México: El rechazo al planeta*. El Economista. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Politica-energetica-de-Mexico-El-rechazo-al-planeta-20200604-0103.html>

- [134] RD Energía. (2019, 3 febrero). *Europa, el campo de batalla del gas natural para Rusia y Estados Unidos*. Revista RD Energía. <https://revistardenergia.com/europa-el-campo-de-batalla-del-gas-natural-para-rusia-y-estados-unidos/>
- [135] Rodríguez Rodríguez, I. (2011). La tesis de los límites físicos del crecimiento: una revisión a los informes del Club de Roma. *Revista de Análisis de Economía, Comercio y Negocios Internacionales*, 5(2), 75–103. [http://publicaciones.eco.uaslp.mx/VOL8/Paper03-5\(2\).pdf](http://publicaciones.eco.uaslp.mx/VOL8/Paper03-5(2).pdf)
- [136] Rodríguez González Valadez, M. P. (2017). Evolución del marco jurídico del sector energético en México. *Jurídica Ibero*, 2(4), 47–76. <https://revistas-colaboracion.juridicas.unam.mx/index.php/juridica/article/view/35972>
- [137] Rodríguez-Padilla, V. (1999, febrero). *Impacto de la reforma económica sobre las inversiones de la industria eléctrica en México: El regreso del capital privado como palanca de desarrollo*. (Series Económicas 18). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/7457>
- [138] Rubio, M., y Folchi, M. (2012). Will small energy consumers be faster in transition? Evidence from the early shift from coal to oil in Latin America. *Energy Policy*, 50, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.054>
- [139] Sabogal, N. (1998). El Protocolo de Montreal, un modelo de concertación para la protección de la capa de ozono. *Relaciones Internacionales*, 7(14), 1–9. <https://revistas.unlp.edu.ar/RRII-IRI/article/view/1787#:~:text=El%20Protocolo%20de%20Montreal%20ha,de%20varias%20de%20estas%20sustancias>
- [140] Sánchez González, M. (2019, 29 mayo). *¿Para qué sirve el PND?* El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/manuel-sanchez-gonzalez/para-que-sirve-el-pnd/>
- [141] Secretaría de Energía. (2015). *Sistema de Información Energética*. Sistema de Información Energética. <https://sie.energia.gob.mx/>
- [142] Secretaría de Energía. (2016). *Balance Nacional de Energía 2015*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248570/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2015\\_2\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248570/Balance_Nacional_de_Energ_a_2015_2_.pdf)
- [143] Secretaría de Energía. (2020a, febrero). *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios*. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)

- [144] Secretaría de Energía. (2020b, julio). *Programa Sectorial de Energía 2020 - 2024*. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020)
- [145] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012a). *Capacidad instalada en operación para la generación de electricidad del Sistema Eléctrico Nacional*. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12eng/compendio/archivos/02\\_energia/D2\\_ENERGIA03\\_01.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12eng/compendio/archivos/02_energia/D2_ENERGIA03_01.pdf)
- [146] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012b). *Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (1.a ed.). Grupo Communicare, S.C.
- [147] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015, 24 noviembre). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico-y-su-protocolo-de-kioto-cmnucc>
- [148] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Gobierno de la República. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>
- [149] Secretaría del Medio Ambiente. (2015). *Cambio climático. El caso de México*. [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/caso\\_mexico.html](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/caso_mexico.html)
- [150] Sewell, W. (1996). Three temporalities: Toward an eventful sociology. En T. J. McDonald (Ed.), *The history turn in the human sciences* (pp. 245-280). Michigan, Estados Unidos: Michigan University Press.
- [151] Shwartz, M. (2017, 3 noviembre). *Future of energy: Cleaner fossil fuels*. Stanford News. <https://news.stanford.edu/2017/10/05/future-energy-fossil-fuels/>
- [152] Smil, V. (2010). *Energy Transitions*. California, Estados Unidos: Praeger.
- [153] Smil, V. (2014). El lento ascenso de las renovables. *Investigación y Ciencia*, 43, 42–47. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/vida-artificial-595/el-lento-ascenso-de-las-renovables-11850>
- [154] Smil, V. (2017). *Energy and Civilization*. Amsterdam, Países Bajos: Amsterdam University Press.

- [155] Smil, V. (2004). World History and Energy. *Encyclopedia of Energy*, 549-561. <https://doi.org/10.1016/b0-12-176480-x/00025-5>
- [156] Smil, V. (2016). Examining energy transitions: A dozen insights based on performance. *Energy Research & Social Science*, 22, 194-197. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.017>
- [157] Solís, A. (2017, 26 diciembre). *Gas shale, un mal negocio para México*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/gas-shale-un-mal-negocio-para-mexico/#:%7E:text=Este%20energ%C3%A9tico%2C%20que%20se%20considera,con%20el%20Centro%20Mario%20Molina>
- [158] Solomon, B. D., y Krishna, K. (2011). The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook. *Energy Policy*, 39(11), 7422-7431. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.009>
- [159] Sorkhabi, R. (2015, 26 junio). *The First Oil Shock*. GEO ExPro. <https://www.geoexpro.com/articles/2015/06/the-first-oil-shock>
- [160] Sorrell, S., Speirs, J., Bentley, R., Brandt, A., y Miller, R. (2010). Global oil depletion: A review of the evidence. *Energy Policy*, 38(9), 5290-5295. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.046>
- [161] Sovacool, B. K., Kim, J., y Yang, M. (2021). The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities. *Energy Research & Social Science*, 72, 101885. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101885>
- [162] Sputnik Mundo. (2020, 30 abril). *Europa renuncia al GNL estadounidense*. Sputnik Mundo. <https://mundo.sputniknews.com/20200430/europa-renuncia-al-gnl-estadounidense-1091286174.html>
- [163] Sputnik Mundo. (2021, 11 febrero). *La geopolítica del gas, discordia perenne entre Occidente y Eurasia*. Sputnik Mundo. <https://mundo.sputniknews.com/20200220/la-geopolitica-del-gas-discordia-perenne-entre-occidente-y-eurasia-1090535880.html>
- [164] Stagno Canziani, G. (2015). El “shale gas” irrumpe con fuerza en el escenario energético mundial. *Revista Marina*, 4, 60–63. <https://revistamarina.cl/revistas/2015/4/gstagnoc.pdf>
- [165] State Utility Forecasting Group. (2007). *Clean Coal Technologies*. Purdue University. <https://www.purdue.edu/discoverypark/energy/assets/pdfs/SUFG-CleanCoalTechnologiesReport.pdf>

- [166] Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. *American Economic Review*, 98(2), 1–37. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1>
- [167] Sukhdev, P., Stone, S., y Nuttall, N. (2010). *Green Economy Developing Countries Success Stories*. United Nations Environment Programme. <https://ledsgp.org/wp-content/uploads/2015/07/Green-Economy-Success-Stories.pdf>
- [168] Tsoskounoglou, M., Ayerides, G., y Tritopoulou, E. (2008). The end of cheap oil: Current status and prospects. *Energy Policy*, 36(10), 3797-3806. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.05.011>
- [169] Union of Concerned Scientists. (2018). *The IPCC: Who are they*. Union of Concerned Scientists. <https://www.ucsusa.org/resources/ipcc-who-are-they>
- [170] United Nations Development Programme. (2008). *Informe sobre desarrollo Humano 2007–2008 Lucha contra el cambio climático, solidaridad frente a un mundo*. Ediciones Mundi-Prensa.
- [171] United Nations Development Programme. (2019). *El enfoque de la Agenda 2030 en planes y programas públicos en México*. (No. 1). <https://www.mx.undp.org>
- [172] United Nations Environment Programme. (2011). *Hacia una economía verde. Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*. Sostenibilidad y Progreso. <http://sostenibilidadyprogreso.org/files/entradas/hacia-una-economia-verde.pdf>
- [173] United Nations Framework Convention on Climate Change. (2012). *¿Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático?* UNFCCC <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-convention/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
- [174] United Nations Framework Convention Climate Change. (2014). *¿Qué es el Protocolo de Kyoto?* UNFCCC [https://unfccc.int/es/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/es/kyoto_protocol)
- [175] United Nations Framework Convention Climate Change. (2018). *¿Qué es el Acuerdo de París?* UNFCCC <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>
- [176] United Nations. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Nota editorial. [http://portal.uned.es/pls/portal/docs/PAGE/UNED\\_MAIN/LAUNIVERSIDAD/DEPARTAMENTOS/0614/ASIGNAT/MEDIOAMBIENTE/TEMA%201/%20%20%20%20%20DECLARACI%C3%93N%20DE%20R%C3%8DO%201992.PDF](http://portal.uned.es/pls/portal/docs/PAGE/UNED_MAIN/LAUNIVERSIDAD/DEPARTAMENTOS/0614/ASIGNAT/MEDIOAMBIENTE/TEMA%201/%20%20%20%20%20DECLARACI%C3%93N%20DE%20R%C3%8DO%201992.PDF)



- [177] United Nations. (2007). *De Estocolmo a Kyoto: Breve historia del cambio climático*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/chronicle/article/de-estocolmo-kyotobreve-historia-del-cambio-climatico>
- [178] United Nations. (2015). *Acuerdo de París*. UNFCCC [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf)
- [179] United Nations. (2016, 11 septiembre). *Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: Energía asequible y no contaminante*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agenda2030/articulos/7-energia-asequible-y-no-contaminante>
- [180] United Nations. (2020). *Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/observances/ozone-day#:~:text=El%20objetivo%20principal%20del%20Protocolo,los%20conocimientos%20cient%C3%ADficos%20e%20informaci%C3%B3n>
- [181] United Nations. (2021, 25 enero). *La ONU celebra el regreso de los Estados Unidos al Acuerdo de París*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2021/01/1486892>
- [182] University for Peace. (2002). *La Cumbre de la Tierra. Visiones diferentes*. Universidad para la Paz. <https://www.bivica.org/files/cumbre-tierra.pdf>
- [183] Uribe-Saldarriaga, C. M. (2014). Mercadeo verde de una empresa dorada. *Estudios Gerenciales*, 30(130), 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2013.11.003>
- [184] Vargas Larios, G. (1999). Reestructuración y privatización del sector eléctrico mexicano. Iztapalapa. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 46, 167–194. <https://revistaiztapalapa.izt.uam.mx/index.php/izt/article/view/609>
- [185] Verbruggen, A., y Al Marchohi, M. (2010). Views on peak oil and its relation to climate change policy. *Energy Policy*, 38(10), 5572-5581. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.002>
- [186] Vidal, J. (2005, 14 febrero). *Revealed: how oil giant influenced Bush*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/news/2005/jun/08/usnews.climatechange>
- [187] Walsh, E., Blomeier, H., y Beck, A. (2020, 25 junio). *El sector energético en México, una lucha entre el pasado y el futuro*. Diálogo Político. <https://dialogopolitico.org/actualidad/el-sector-energetico-en-mexico-una-lucha-entre-el-pasado-y-el-futuro/>

- [188] World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future: United Nations. Desarrollo Sustentable.*  
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- [189] World Energy Council. (2010). *World Energy Trilemma Index.*  
<https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>
- [190] World Wide Fund for Nature. (2001). *Protocolo de Kioto. Situación actual y perspectivas.* Centro de Extensión Universitaria e Divulgación Ambiental de Galicia.  
<http://www.ceida.org/prestige/Documentacion/Protocolo%20Kioto.pdf>
- [191] World Wide Fund for Nature. (2016). *15 Signals: Evidence the energy transition is underway.* World Wide Fund for Nature. <https://www.worldwildlife.org/publications/15-signals-evidence-the-energy-transition-is-underway>
- [192] Zee Y., y Holditch, S. (2015). *Unconventional oil and gas resources handbook: Evaluation and development* (Illustrated ed.). Gulf Professional Publishing.
- [193] Zhang, X., Xie, J., Rao, R., y Liang, Y. (2014). Policy Incentives for the Adoption of Electric Vehicles across Countries. *Sustainability*, 6(11), 8056–8078.  
<https://doi.org/10.3390/su6118056>

## ANEXOS

---

### LISTA DE ACRÓNIMOS

<i>Acrónimo</i>	<i>Significado</i>
<b>ACV</b>	Análisis de ciclo de vida
<b>AGP</b>	Almacenamiento geológico profundo
<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>BP</b>	British Petroleum
<b>CANMET</b>	Canada Centre for Mineral and Energy Technology
<b>CAR</b>	Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible
<b>CCPI</b>	Climate Change Performance Index
<b>CEDRSSA</b>	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria
<b>CEFP</b>	Centro de Estudios de las Finanzas Públicas
<b>CEL</b>	Certificado de Energías Limpias
<b>CENACE</b>	Centro Nacional de Control de Energía
<b>CFC</b>	Clorofluorocarbonos
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad
<b>CLFC</b>	Compañía de Luz y Fuerza del Centro
<b>CMM</b>	Centro Mario Molina
<b>CO</b>	monóxido de carbono
<b>CONUEE</b>	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
<b>COP</b>	Conferencias de las Partes
<b>COV</b>	Compuestos orgánicos volátiles
<b>COVDM</b>	Compuestos orgánicos volátiles distintos al metano
<b>CSC</b>	Captura y secuestro de carbono
<b>CWA</b>	Clean Water Action
<b>ENCC</b>	Estrategia Nacional de Cambio Climático
<b>EPE</b>	Empresa Productiva del Estado
<b>GCC</b>	Global Climate Coalition
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>GET</b>	Green Economy Tracker
<b>HCFC</b>	Hidroclorofluorocarbonos
<b>I&amp;D</b>	Investigación y Desarrollo
<b>IAEA</b>	International Atomic Energy Agency
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>INEEL</b>	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias
<b>INEGEI</b>	Inventario Nacional de Emisiones
<b>ININ</b>	Instituto Nacional de Investigadores Nucleares
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change

<b>IRENA</b>	International Renewable Energy Agency
<b>IVA</b>	Impuesto al Valor Agregado
<b>LGCC</b>	Ley General de Cambio Climático
<b>LIE</b>	Ley de la Industria Eléctrica
<b>LNG</b>	Liquefied natural gas
<b>LP</b>	Licuado del petróleo
<b>LSPEE</b>	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
<b>LTE</b>	Ley de Transición Energética
<b>MCI</b>	Motor de combustión interna
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desarrollo Limpio
<b>MIT</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>MLP</b>	Multi-Level Perspective
<b>NDC</b>	Nationally Determined Contributions
<b>NRC</b>	National Research Council
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>OPEC</b>	Organization of the Petroleum Exporting Countries
<b>PCG</b>	Potencial de calentamiento global
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>PETE</b>	Programa Especial de Transición Energética
<b>PIB</b>	Producto interno bruto
<b>PM</b>	Material particulado
<b>PNA</b>	Política Nacional de Adaptación
<b>PND</b>	Plan Nacional de Desarrollo.
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>PRODESEN</b>	Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
<b>PRONASE</b>	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
<b>PRONE</b>	Programa Nacional de Energéticos
<b>PROSENER</b>	Programa Sectorial de Energía
<b>PwC</b>	PricewaterhouseCoopers
<b>SAO</b>	Sustancias que agotan la capa de ozono
<b>SEDEMA</b>	Secretaría del Medio Ambiente
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SEN</b>	Sistema Eléctrico Nacional
<b>SENER</b>	Secretaría de Energía
<b>SINACC</b>	Sistema Nacional de Cambio Climático
<b>SUFG</b>	State Utility Forecasting Group
<b>TES</b>	Transición Energética Soberana
<b>TLCAN</b>	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
<b>UCSUSA</b>	Union of Concerned Scientists

<b>UE</b>	Unión Europea
<b>UN</b>	United Nations
<b>UNDP</b>	United Nations Development Programme
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programme
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>UPEACE</b>	University of Peace
<b>URE</b>	Unidades de reducción de emisiones
<b>USA</b>	United States of America
<b>USD</b>	Dólar estadounidense
<b>UV-B</b>	Radiación ultravioleta
<b>VE</b>	Vehículos eléctricos
<b>WCED</b>	World Commission on Environment and Development
<b>WEC</b>	World Energy Council
<b>WHO</b>	World Health Organization
<b>WWF</b>	World Wide Fund for Nature

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Consumo energético mundial y transiciones energéticas .....	14
Figura 1.2. Dimensiones del Trilema Energético y medidas clave de evaluación .....	23
Figura 2.1. Comparación entre el histórico de producción de Estados Unidos y la Curva de Hubbert (1956) .....	34
Figura 2.2. Comparativo de histórico del precio del crudo contra la producción mundial de petróleo .....	36
Figura 2.3. Comparativo de histórico de producción contra las reservas probadas de Estados Unidos. ....	38
Figura 2.4. Comparativo de la producción de gas natural en Estados Unidos contra el histórico de precios del crudo.....	43
Figura 2.5. Generación de energía eléctrica por recurso.....	44
Figura 3.1. Histórico de precios de crudo (\$/barril), carbón (\$/tonelada) y gas natural (\$/MMBTU) .....	52
Figura 3.2. Fuentes y trayectorias de las externalidades asociadas con el suministro de energía y transporte.....	61
Figura 3.3. Marco de incentivos financieros para vehículos eléctricos .....	74
Figura 3.4. Tasa anual de crecimiento del consumo de energía primaria (1970–2019).....	83
Figura 3.5. Histórico emisiones de CO <sub>2</sub> . Arriba. Mundial. Abajo. EU, China y Europa .....	91
Figura 3.6. Concentración de Reservas de gas natural en el mundo .....	93
Figura 4.1. Consumo y producción nacional de crudo en el periodo de 1970-1980 .....	104
Figura 4.2. Capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional (1970-1990).....	109
Figura 4.3. Capacidad instalada (1989-2016).....	111
Figura 4.4. Producción nacional de petróleo y gas natural (2010-2020) .....	123
Figura 4.5. Generación de energía eléctrica por tecnología en el año 2000, 2010 y 2017.....	123
Figura 4.6. Arriba. Distribución de emisiones totales por sector. Abajo. Emisiones Netas en el periodo 2000-2017 .....	125
Figura 4.7. Escenarios del consumo final energético.....	132
Figura 4.8. Consumo final de energía por sector 2014-2050.....	133
Figura 4.9. Intensidad energética de consumo final (2019-2050) .....	135
Figura 4.10. Escenarios de consumo final de energía y potenciales de ahorro de eficiencia energética por sector, 2014-2050.....	135