



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Modelo Energético para el  
Desarrollo Sostenible ante la  
Perspectiva Energética Mundial**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Cedillo Martínez Daniel Moisés

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Fernández Zayas José Luis



**Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 2021**



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.



Agradecimientos:

A mi alma mater, la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado una educación de gran nivel, por haberse convertido en mi casa, donde me convertí en la persona que ahora soy consciente de los problemas que hay que enfrentar y dispuesto a realizar un cambio para mejorar mi amado México.

A la Facultad de Ingeniería que me ha brindado apoyo incondicional en mi desarrollo como estudiante, buscando siempre la excelencia y la mejora en la capacidad de resolver problemas y un agradecimiento especial a cada uno de los profesores y profesoras con quienes tuve el honor de compartir a lo largo de mi carrera, a su paciencia, su dedicación y su conocimiento, la labor de un docente es de máximo nivel humano.

Al Dr. Fernández Zayas por haberme guiado de manera excelsa durante el desarrollo de esta tesis, por haberme motivado con cada una de sus platicas, por haber sido fuente de inspiración al desarrollo personal y profesional, por su paciencia y cada uno de sus consejos que llevaré a donde quiera que vaya. A mis sinodales por haberme brindado su apoyo, su tiempo, su dedicación y su conocimiento. A Edgar Ocampo Téllez por hacerme consciente de los problemas energéticos que el futuro nos depara.

A mi padre Ramon por haberme aconsejado y haberme brindado la oportunidad de terminar una carrera, a mi madre Rosi por haber dado todo por mí y mis hermanos cada uno de nuestros días y darnos su amor incondicional, a mi hermana Vanessa por ser un ejemplo de perseverancia y lealtad, a mi hermano Cesar porque a pesar de ser muy diferentes siempre hemos estado el uno para el otro y a mi hermana Vania por su amor y su valentía. A toda mi familia porque sin ellos y sin su apoyo poco tendría de la vida, en especial a mi bisabuela Maura, mi abuela Josefina, mi segunda madre Olga, a mi tía Mariela, mi tia Gabriela, mi hermanita Fernanda y a la señora Norma Lobato por brindarme su cariño, apoyo, confianza y bondad.

A Roxana por haber sido mi compañera en estos días que por mucho han sido complicados, por mostrarme su apoyo y amor incondicional, por haberme regalado el regalo más valioso de la vida.

A todos mis amigos que a lo largo de la carrera tuve el placer de compartir muchos momentos, que siempre estuvieron conmigo en especial a Karla y a Miguel, también a mis amigos deportistas que sin ellos y sin el deporte es probable que mi carrera hubiera quedado sin terminar, también a mis amigos que no conocí en la universidad pero que gracias a ella tuve el placer de conocerlos y compartir momentos que quedarán para siempre en mi memoria.

Por último, gracias a Dios por haberme dado esta vida llena de amor, momentos increíbles y retos vencidos, quiero decirte que estoy completamente agradecido y que me esforzaré al máximo por cumplir cada uno de mis sueños.

En memoria de:

*Jorge Israel Martínez García.*

*Juan Cedillo Pacheco.*

*José Luis Orduña Minor.*

## Índice.

Introducción: .....	6
Objetivos: .....	7
Justificación:.....	8
1. La Energía en Nuestro Desarrollo.....	9
1.1. Revoluciones Industriales y Población Mundial. ....	10
1.2. Cambio Climático y sus Repercusiones.....	17
1.3. Acuerdos y Compromisos Internacionales: Rumbo al Desarrollo Sostenible. ....	28
1.4. Ingeniería para la Energía en el Desarrollo Sostenible: Retos, Desafíos y Oportunidades .....	46
2. Balance Energético, Reservas y Perspectivas: Crisis Energética Mundial.....	51
2.1 Balance Energético Mundial Actual. ....	51
2.2 Reservas Energéticas No Renovables. ....	60
2.3 Potencial de las Fuentes de Energía Renovables en el Mundo, su Desarrollo y sus Limitantes.....	89
2.4 Perspectiva Energética Mundial. ....	105
3. Modelo Energético para el Desarrollo Sostenible ante la Perspectiva de una Crisis Energética Mundial.....	108
3.1 Concientización, Conservación y Decrecimiento: el Camino hacia la Sostenibilidad.....	109
3.2 Conclusiones: Modelo Energético para el Desarrollo Sostenible.....	111
Bibliografía y Referencias. ....	113

## Introducción:

Proponer un Modelo Energético para el Desarrollo Sostenible es el principal objetivo de esta Tesis, al conocer las problemáticas energéticas tanto ambientales, sociales y económicas, revisar y entender los acuerdos internacionales de desarrollo sostenible, analizar las reservas energéticas no renovables y analizar el verdadero potencial de las energías renovables, para seguir con el desarrollo de la sociedad ante una posible crisis energética global. En la actualidad vivimos un problema global que nos compete a toda la humanidad. Debemos afrontarlo con medidas realistas, trabajando juntos por un mismo objetivo, buscar soluciones a los retos que estamos enfrentando y que a nivel mundial debemos darle la importancia y el interés que amerita.

Como sociedad siempre hemos estado en busca del desarrollo y esto nos ha puesto en donde estamos ahora; sin embargo, el costo que pagarán las futuras generaciones será injusto porque lo único que habrá en abundancia serán las crisis, desde energéticas y económicas hasta sociales y ambientales, siendo nosotros los causantes de gran parte de los problemas que se vivirán en el futuro, porque desde hace más de un siglo hemos actuado como si los recursos fueran infinitos pensando que el crecimiento económico es la mejor alternativa a los problemas globales, sin ponernos a analizar las repercusiones que tendrá la ambición de la riqueza que se ha generado. Estamos obligados a ser conscientes de los problemas internacionales para conservar nuestra estadía en la Tierra. Desde hace varios años se ha impulsado la divulgación de estos problemas y se empezó a hablar del concepto de desarrollo sostenible, siendo aquel desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

El concepto de desarrollo sostenible es fruto de un largo recorrido, alcanzando una amplia difusión a partir de la Estrategia Mundial para la Conservación que se presentó en 1980, cuando se llegó a la conclusión de que los seres humanos, en la búsqueda del desarrollo económico y del goce de las riquezas naturales, debería hacer frente a la realidad de lo limitado que son los recursos y la capacidad de los ecosistemas. Deberíamos tener en cuenta las necesidades de las generaciones futuras. Cuando se habla de desarrollo sostenible, se habla de una estrategia planetaria, una estrategia en conjunto en la que todos los grupos sociales y todas las naciones se encuentran comprometidos, con un mismo objetivo: la conservación del planeta y nuestro desarrollo. Sin embargo, el desarrollo sostenible no tiene sentido desde un punto de vista estrictamente físico, porque nada es sostenible en el desarrollo. Cualquier tipo de desarrollo, por muy respetuoso que sea con el medio ambiente, produce una degradación energética que, de acuerdo con las leyes de la termodinámica, es irreversible. La importancia del desarrollo sostenible es que abre un panorama optimista, porque permite trabajar en un horizonte más claro, ese horizonte donde los ciudadanos se preocupan por las futuras generaciones, donde los gobiernos son menos expectantes y están determinados a crear soluciones realistas, científicos que logren

responder al reto de la supervivencia e ingenieros que desarrollen tecnología e innovación para ayudar al desarrollo de la sociedad, el medio ambiente y la Tierra.

#### Objetivos:

1. Entender la importancia que tiene la energía en nuestra vida diaria y como ha incrementado el consumo a partir de la primera revolución industrial, así como entender el aumento demográfico y sus repercusiones en la sostenibilidad y el papel que tienen los ingenieros en el desarrollo sostenible. Conocer qué es el calentamiento global, sus repercusiones en nuestra calidad de vida y en el planeta, así como explicar los acuerdos y compromisos que se tienen a nivel internacional para combatir el cambio climático, así como el desarrollo de la sociedad y conocer los desafíos y oportunidades para el desarrollo sostenible en el sector energético.
2. Analizar el balance energético a nivel internacional para conocer el contexto energético mundial actual y conocer las reservas energéticas de los hidrocarburos, así como las distintas perspectivas para el futuro de la energía no renovable, también analizar el verdadero potencial energético renovable en el mundo, su aprovechamiento y conocer sus limitantes, así como analizar los casos de países con una matriz energética con altos porcentajes renovables.
3. Desarrollar un modelo energético sostenible.

#### Preguntas de investigación:

1. Conocer los motivos del incremento de la demanda energética de la sociedad. ¿Cuál es la importancia de la energía en nuestra vida diaria? ¿Qué lugar ocupamos los ingenieros en el desarrollo sostenible? ¿Qué es el calentamiento global y cuáles son sus repercusiones en el planeta? ¿Qué acuerdos y compromisos se tienen para combatir el cambio climático? ¿Cuáles son los desafíos energéticos del desarrollo sostenible?
2. ¿Cómo es el balance energético actual? ¿Cuáles son las reservas energéticas de hidrocarburos? ¿Cuál es el potencial de energías renovables? ¿Cómo se puede aprovechar y cuáles son sus limitantes? ¿Qué países son los más desarrollados en energías renovables y como lo han logrado?
3. ¿Qué Modelo Energético de Desarrollo Sostenible necesita la sociedad? ¿Puede existir la sostenibilidad energética en el desarrollo?

### Justificación:

El hombre ha estado cambiando el clima del mundo con los desechos de la civilización; la combustión de carbón, petróleo, gas y madera están liberando dióxido de carbono a la atmósfera, el efecto invernadero está cambiando nuestro clima, pero aún más importante, nos acercamos a una crisis energética mundial porque no hemos entendido lo limitado que son nuestros recursos energéticos. Como sociedad se ha querido seguir en el camino del desarrollo que cada vez es más interdependiente ya que las decisiones que se toman tienen repercusiones en todo el mundo y no podemos funcionar de manera aislada. Existen diferentes problemáticas y una con gran importancia, es la crisis energética a la que nos vamos a enfrentar en el futuro cercano. A pesar de esto, en las cumbres climáticas solo hablan de reducir los gases de efecto invernadero (GEI), siendo el sector energético el mayor contribuyente, sin embargo, el análisis energético no ha contado con la importancia que amerita, se cree y existe una falsa divulgación manifestando que las energías renovables serán la salvación que nos permita seguir viviendo de la manera como lo estamos haciendo y además con un desarrollo sostenible social, económico y ambiental, pero será imposible esa transición energética con la tecnología que hasta ahora se ha desarrollado y con la gran demanda energética que nuestra sociedad requiere y que continuará en aumento en el futuro.

Desarrollar un Modelo Energético para un Desarrollo Sostenible nos permite conocer cuáles son las variables más importantes en la sociedad: desarrollar una matriz energética menos contaminante, conocer el potencial de las reservas energéticas y analizar el inventario de los recursos energéticos fósiles y renovables. Además, nos permite dar soluciones para el crecimiento económico en países en vías de desarrollo dando así una mejor calidad de vida a esta población creciente y muy contaminante, sin darse el lujo de contaminar a niveles de los países desarrollados, sin embargo, los países desarrollados que son la menor parte de la población tendrán que desarrollar alternativas a sus niveles de consumo energético ocasionando así un nivel de vida más equitativo a nivel mundial, aumentando su productividad y eficiencia energética. La energía desde hace más de doscientos años nos ha ayudado a desarrollarnos y a crear el mundo que hemos creado, pero si no nos desarrollamos de manera inteligente, todo lo que hemos construido se terminará tarde o temprano y será imposible regresar al nivel de vida que ahora tenemos, así que depende de las decisiones y acciones que tomemos en la actualidad lo que le dará forma al futuro.

## 1. La Energía en Nuestro Desarrollo.

*“Se trata simplemente de darse cuenta de la necesidad de limitar las necesidades y los deseos, para conseguir una verdadera abundancia”*

Serge Latouche.

Vivimos en tiempos exponenciales el mundo cambia mucho más rápido que nunca, la cantidad de información, la tecnología disponible, la población mundial, el consumo energético y no podemos seguir viviendo una vida lineal, debemos de dejar de vivir de manera tradicional, porque esta manera de vivir funcionó en el siglo pasado, cuando la mayoría de la tecnología, la mayoría de la información que usamos en la actualidad no existían, debemos vivir al nivel del tiempo que nos tocó vivir, debemos actualizarnos día a día y debemos buscar soluciones a los problemas que estamos enfrentando de manera precisa y efectiva. Los cambios que estamos presenciando son tan profundos que, desde la perspectiva de la historia humana, nunca ha existido una época de mayor promesa o de potencial peligro. Estamos evidenciando cambios profundos en todas las industrias, en la manera en que trabajamos y nos comunicamos, la manera cómo nos expresamos y nos informamos, así como la educación, el transporte, la salud e incluso los gobiernos y las instituciones deben reinventarse ante los cambios. El desarrollo y avance de la humanidad es histórico y su comprensión es de excepcional importancia si queremos conformar un futuro colectivo que refleje los objetivos y valores comunes de la sociedad, ya que todos debemos tener una visión integral y a su vez compartida a nivel mundial para ser conscientes de cómo el avance tecnológico está cambiando nuestras vidas y cómo va a cambiar la vida de las generaciones futuras, así también de cómo está cambiando el panorama social, cultural, económico y energético en el cual vivimos. Debemos pensar estratégicamente de manera disruptiva e innovadora para darle forma a nuestro futuro, reflexionar quiénes somos y qué queremos para nuestro mundo.

La energía ha jugado un papel fundamental en el crecimiento exponencial que hemos tenido como sociedad y en la actualidad la energía es indispensable para nuestras necesidades y para nuestro desarrollo, la energía está en todo lo que nos rodea; no solo es la electricidad y la gasolina, la energía es la ropa que vestimos, los alimentos que consumimos, el agua que llega a nuestra casa, los viajes que hacemos, las carreteras por las que nos trasladamos, las casas en las que vivimos, los edificios en los que trabajamos, los barcos que traen los productos de importación, la misma extracción de hidrocarburos o la construcción de instalaciones de energías renovables, las universidades en las que estudiamos, los hospitales, la medicina, los centros comerciales, la extracción de minerales, la pesca, la agricultura, la ganadería, las plantas nucleares, la tecnología de última generación, los drones, la impresión 3D, la industria, los celulares. El desarrollo humano y económico de cada país depende directamente de la energía. En este capítulo se explicará la importancia que tiene la energía en la actualidad, cómo nuestra sociedad ha llegado a la

cuarta revolución industrial, a partir de la utilización del carbón en la primera revolución industrial, cómo se ha dado el crecimiento demográfico exponencial y cuál es el papel que tendrán los ingenieros en el desarrollo de nuevas tecnologías que nos permitan continuar con el desarrollo de la humanidad de manera consciente de las limitaciones y potencialidades, así como analizar los acuerdos y compromisos que se tienen a nivel internacional para combatir el cambio climático y cuáles son los desafíos en un desarrollo energético sostenible y la relación que hay entre el cambio climático y el consumo energético.

### 1.1. Revoluciones Industriales y Población Mundial.

El gran avance tecnológico del hombre se remonta a la primera revolución industrial, cuando la economía dejó de concentrarse solamente en la agricultura y en la artesanía para depender de la industria. Nació en Gran Bretaña, se extendió al resto de Europa y abarcó aproximadamente de 1760 a 1840, el hombre empezó a crear el futuro que ahora estamos viviendo, los cambios fueron tecnológicos, socioeconómicos y culturales, los tecnológicos fueron desde el uso de nuevos materiales como el acero a fuentes energéticas como el carbón y la máquina de vapor inventada por James Watt en 1768, considerada como el motor inicial de la Revolución Industrial. Otros inventos como el ferrocarril por Richard Trevithick, el telégrafo por Samuel Morse y el teléfono por Alexander Graham Bell dieron un cambio radical en la forma en que vivía la sociedad. Uno de los cambios más notables fue el crecimiento de las ciudades ocasionando un aumento demográfico como consecuencia de la elevada natalidad y la disminución de la mortalidad debido a los avances sanitarios.

La Segunda Revolución Industrial ocurrió a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, y fue un fortalecimiento y perfeccionamiento de las tecnologías de la Primera Revolución Industrial, se considera una segunda fase que implica una serie de desarrollos dentro de la industria química, eléctrica, de petróleo y de acero, existieron progresos esenciales durante este período que incluyen la introducción de los buques de acero movidos a vapor, el desarrollo del avión y de la locomotora, la producción en masa de bienes de consumo, el enlatado de alimentos, refrigeración y otras técnicas de preservación y la invención del teléfono electromagnético y principalmente la fomentación de la electricidad. Durante este periodo se consolidan Alemania, Estados Unidos, Francia y el Reino Unido como potencias industriales y las poblaciones urbanas superaron a las del campo, haciendo más importantes a las metrópolis.

La Segunda Revolución industrial llevó al hombre al descubrimiento de nuevas fuentes de energía como fueron la electricidad y el petróleo que usamos en la actualidad y seguiremos usando. En Estados Unidos la segunda revolución industrial está asociada con electrificación de Nikola Tesla, Thomas Alva Edison y George Westinghouse y la gestión científica aplicada a la industria por Frederick Winslow Taylor. Por otro lado, el motor de combustión interna

fue una máquina de reemplazo del motor a vapor mediante el empleo de un nuevo combustible, que fue el petróleo.

El economista, asesor político y profesor de la Universidad de Pennsylvania Jeremy Rifkin es quien acuña el término de tercera revolución industrial y menciona que las grandes revoluciones económicas de la historia ocurren cuando nuevas tecnologías de comunicación convergen con nuevos sistemas de energía, en la primera se usa el carbón y en la segunda el petróleo. Rifkin afirma que estamos viviendo en la segunda revolución industrial y que se encuentra en sus últimas etapas y que será inevitablemente sustituida por la tercera revolución industrial que será representada por la producción de energía sustentable y la tecnología del internet. (Brun, n.d.) Coincido con varias de las propuestas que Rifkin propone en su libro publicado en 2011 “La Tercera Revolución Industrial.” Sin embargo, difiero con el economista debido a que el desarrollo de nuevas tecnologías en los últimos años ha sido exponencial y no los podemos comparar con el sistema de desarrollo del siglo pasado.

Por otro lado, el economista, empresario y fundador del Foro Económico Mundial, Klaus Schwab nos dice en su libro publicado en 2016 “La Cuarta Revolución Industrial” que La Tercera Revolución industrial inició en la década de 1960. Generalmente se la conoce como la revolución digital o del ordenador, porque fue catalizada por el desarrollo de los semiconductores, la computación mediante servidores tipo mainframe en la década de 1960, la informática personal décadas de 1970 y 1980 y el internet en la década de 1990. La Tercera Revolución Industrial trajo como consecuencias la descentralización de la producción, la aparición de nuevas industrias como la electrónica y la informática, el desarrollo de la economía de servicios y la globalización de la economía. Respecto a los avances energéticos en 1942 en EE. UU. el físico Enrico Fermi y sus colaboradores desarrollan en la Universidad de Princeton, Chicago, la primera reacción nuclear controlada en la historia de la humanidad y servirá de modelo para centrales nucleares y en lo inmediato para construir las primeras bombas atómicas. También se da un creciente dominio y aplicación de la ciencia a la industria y con ello las nuevas formas de organización capitalista, lo que ocasionaría más avances tecnológicos después del periodo de guerras.

De acuerdo con Claus Schwab estamos comenzando la cuarta revolución industrial y se caracteriza por las tecnologías digitales cada vez más sofisticadas e integradas y como consecuencia están transformando las sociedades y la economía mundial, Andrew McAfee y Erik Brynjolfsson del Massachusetts Institute of Technology (MIT) se refieren a este período como “La segunda era de las máquinas”.<sup>1</sup> Título de su libro de 2014, al afirmar que “el mundo está en un punto de inflexión porque el efecto de estas tecnologías digitales se

---

<sup>1</sup> Andrew McAfee, *The Second Machine Age. Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, W. W. Norton & Company, 2014

manifestará con toda su fuerza a través de la automatización y la creación de tecnología sin precedentes”.

En Alemania en la feria de Hannover de 2011 se comenzó a hablar sobre la industria 4.0 para describir cómo ésta revolucionará la organización de las cadenas de valor globales, es decir, la interconexión global de nuevos sistemas, entre ellos el energético, mediante la creación de industria inteligente. Los sistemas virtuales y físicos cooperarán entre sí de manera flexible y ordenada en todo el planeta. (Schwab, 2014) afirma:

La cuarta revolución industrial, no obstante, no solo consiste en máquinas, sistemas inteligentes y conectados. Su alcance es más amplio. Al mismo tiempo, se producen oleadas de más avances en ámbitos que van desde la secuenciación genética hasta la nanotecnología y de las energías renovables a la computación cuántica. Es la fusión de estas tecnologías y su interacción a través de los dominios físicos, digitales y biológicos lo que hace que la cuarta revolución industrial sea fundamentalmente diferente de las anteriores.<sup>2</sup>

Las innovaciones de las tecnologías de la cuarta revolución industrial están generando un cambio trascendental en todo el mundo, sin embargo, los avances de la segunda revolución industrial aún deben ser experimentados por el 17% de la población mundial debido a que alrededor de 1,300 millones de habitantes carecen de acceso a la electricidad, todos habitantes de los países subdesarrollados. Para el caso de la tercera revolución industrial ocurre lo mismo debido a que más del 43% de la población mundial vive sin acceso a internet, es decir, 3,288 millones de personas aún no están conectadas en la red y prácticamente todas las personas en estas circunstancias viven en países en vías de desarrollo y subdesarrollados. A pesar de que la cuarta revolución industrial es la interconectividad digital y física en todo el mundo y el desarrollo de nuevas tecnologías disruptivas, solo se está dando en los países de primer mundo que representan el 15% del total de la población mundial, que son aproximadamente 1,200 millones de personas.

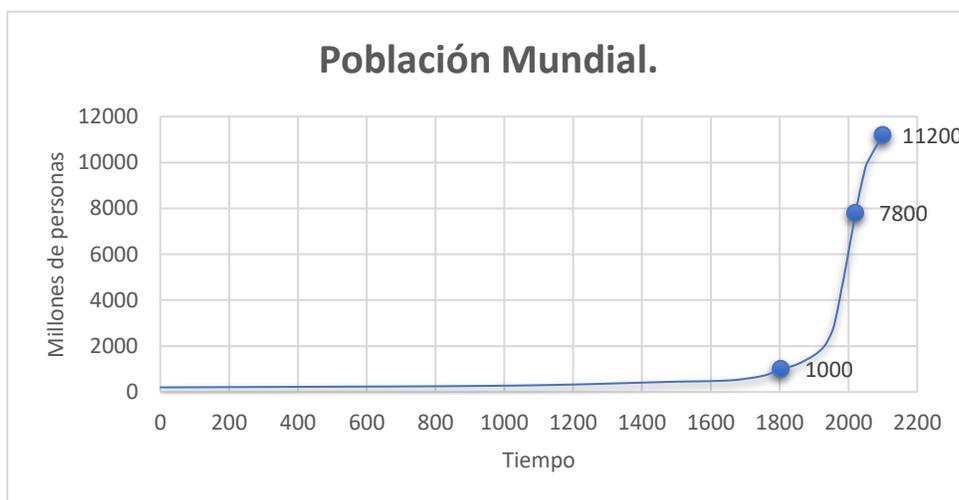
Así es como nuestra sociedad se ha industrializado a lo largo de doscientos cincuenta años y los cambios cada vez son más rápidos y en la actualidad estamos cambiando, creciendo y desarrollando tecnología de manera exponencial, las soluciones que debemos dar a los problemas a los que hoy nos enfrentamos deben estar a la altura de estos cambios exponenciales y disruptivos, ya que los países desarrollados disfrutan de una calidad de vida y un índice de desarrollo humano alto mientras devoran los recursos naturales y en este caso específico los recursos energéticos, los países desarrollados son los únicos que han recibido los beneficios de las cuatro revoluciones industriales, y a partir del liderazgo de estos países y de la comprensión de los problemas energéticos a escala mundial que deben ser abordados de manera realista y seria, se podrá seguir el desarrollo de los demás países de manera sostenible.

---

<sup>2</sup> Shwab Klaus, The Fourth Industrial Revolution. Crown Business. New York. 2016.

Los grandes avances tecnológicos y de salud de las revoluciones industriales permitieron el aumento exponencial de la población ya que alrededor del año 8000 a. C. la población mundial era de aproximadamente 5 millones de habitantes. En el período de 8,000 años hasta 1 d.C. creció a 200 millones, para el año de 1800 d.C. se habían superado los 1,000 millones de habitantes, a partir de ese momento debido al consecuente desarrollo ocasionado por las revoluciones industriales, se produjo un cambio radical en la tasa de crecimiento poblacional, los 2,000 millones se alcanzaron en solo 130 años. En 1930, los 3,000 millones en 30 años en 1960, los 4,000 millones en 14 años en 1974 y los 5,000 millones en solo 13 años en 1987. Solo durante el siglo XX, la población mundial ha crecido de 1,650 millones a 6,000 millones. Y solo en el lapso de 118 años la población creció más de 4.5 veces siendo en la actualidad más de 7,800 millones de personas en el mundo.

La población en el mundo en 2018 creció a una tasa de alrededor de 1.09% con una pequeña reducción comparada con el 1.12% en 2017 y 1.14% en 2016 respectivamente. La tasa de crecimiento anual alcanzó su punto máximo a fines de la década de 1960, cuando se encontraba en torno al 2%. La tasa de aumento casi se ha reducido a la mitad desde entonces, y continuará disminuyendo en los próximos años. Se estima que alcanzará el 1% en 2023, menos del 0,5% en 2052 y el 0,25% en 2076. Por lo tanto, la población mundial seguirá creciendo en el siglo XXI, pero a un ritmo mucho más lento en comparación con el pasado. Las últimas proyecciones de población indican que la población mundial alcanzará los 10 mil millones de personas en el año 2055 y los 11 mil millones en el año 2088.<sup>3</sup>



Gráfica 1. Población mundial ha cambiado a lo largo de la historia.

En el mundo existen 193 países reconocidos por la Organización de Naciones Unidas ONU; casi el 75% de la población se concentra solo en los primeros 25 países y el 25% en el resto del mundo, siendo China el país más poblado a nivel mundial con 18.41% seguido por India

<sup>3</sup> Banco Mundial <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

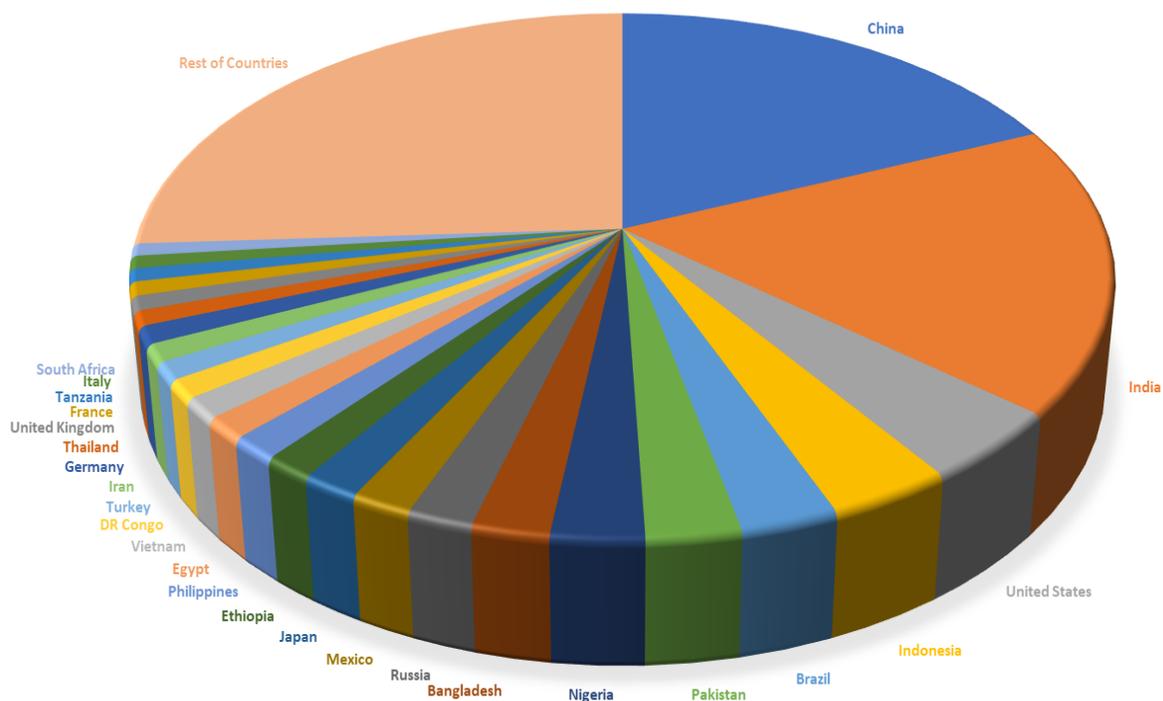
con 17.74% y en tercer lugar EE. UU. con 4.27%, solo estos tres países concentran el 40.42% del total de la población mundial. México se encuentra en el lugar 10 de los países más poblados, con una población que supera en la actualidad los 132 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional del 1.2%, un crecimiento poblacional de 1,568,961 personas en 2018 con una densidad poblacional de 68 personas por cada kilómetro cuadrado, los mexicanos tienen una tasa de fertilidad de 2.4% y una edad media de 29 años por lo que se considera un país de habitantes jóvenes, el 78% de la población vive en sitios urbanos que es un total de 103,215,867 habitantes y tiene el 1.72% de la población mundial.

#	Country (or dependency)	Population	Yearly	Net	Density	Land Area	Fert.	Med.	Urban	World
		may-19	Change	Change	(P/Km <sup>2</sup> )	(Km <sup>2</sup> )	Rate	Age	%	Share
1	China	1,420,062,022	0.35%	5,016,094	151	9,388,211	1.6	39	60%	18.41%
2	India	1,368,737,513	1.08%	14,685,659	460	2,973,190	2.3	28	34%	17.74%
3	USA	329,093,110	0.71%	2,326,362	36	9,147,420	1.9	38	84%	4.27%
4	Indonesia	269,536,482	1.03%	2,741,502	149	1,811,570	2.3	29	56%	3.49%
5	Brazil	212,392,717	0.72%	1,524,763	25	8,358,140	1.7	33	86%	2.75%
6	Pakistan	204,596,442	1.88%	3,782,624	265	770,880	3.4	23	40%	2.65%
7	Nigeria	200,962,417	2.60%	5,087,180	221	910,770	5.4	18	52%	2.60%
8	Bangladesh	168,065,920	1.02%	1,697,771	1,291	130,170	2.1	27	37%	2.18%
9	Russia	143,895,551	-0.05%	-69,158	9	16,376,870	1.8	40	73%	1.87%
10	Mexico	132,328,035	1.20%	1,568,961	68	1,943,950	2.1	29	79%	1.72%
11	Japan	126,854,745	-0.26%	-330,587	348	364,555	1.5	48	94%	1.64%
12	Ethiopia	110,135,635	2.42%	2,600,753	110	1,000,000	4	20	21%	1.43%
13	Philippines	108,106,310	1.50%	1,594,236	363	298,170	2.9	25	44%	1.40%
14	Egypt	101,168,745	1.80%	1,793,004	102	995,450	3.2	25	39%	1.31%
15	Vietnam	97,429,061	0.97%	937,915	314	310,070	1.9	33	36%	1.26%
16	DR Congo	86,727,573	3.24%	2,722,584	38	2,267,050	6	17	41%	1.12%
17	Turkey	82,961,805	1.28%	1,044,934	108	769,630	2	32	72%	1.08%
18	Iran	82,820,766	0.99%	809,031	51	1,628,550	1.6	32	76%	1.07%
19	Germany	82,438,639	0.18%	145,182	237	348,560	1.5	47	76%	1.07%
20	Thailand	69,306,160	0.18%	122,987	136	510,890	1.5	40	54%	0.90%
21	United Kingdom	66,959,016	0.58%	385,512	277	241,930	1.9	41	81%	0.87%
22	France	65,480,710	0.38%	247,439	120	547,557	2	42	81%	0.85%
23	Tanzania	60,913,557	3.08%	1,822,165	69	885,800	4.9	18	33%	0.79%
24	Italy	59,216,525	-0.13%	-74,444	201	294,140	1.5	48	72%	0.77%
25	South Africa	58,065,097	1.16%	666,676	48	1,213,090	2.4	27	63%	0.75%
26	Rest of Countries	1,996,602,162								26.01%
	Total	7,704,856,715								100%

Tabla 1. Población por país en 2019.

Existen diferentes factores que permitieron el exponencial crecimiento poblacional, como se vio la revolución industrial trajo consigo avances tecnológicos entre ellos avances en la medicina lo que provocó una disminución en la tasa de mortalidad que fue un factor clave en el crecimiento poblacional porque descendió el número de muertes y el número de

nacimientos permaneció contante y así la población aumento, otro factor fue la investigación científica y la mejora en las tecnologías de producción agrícolas que contribuyó a disponer de más alimentos para la población y por último la concentración urbana que según datos del banco mundial más del 55% de la población vive en zonas urbanas.<sup>4</sup>



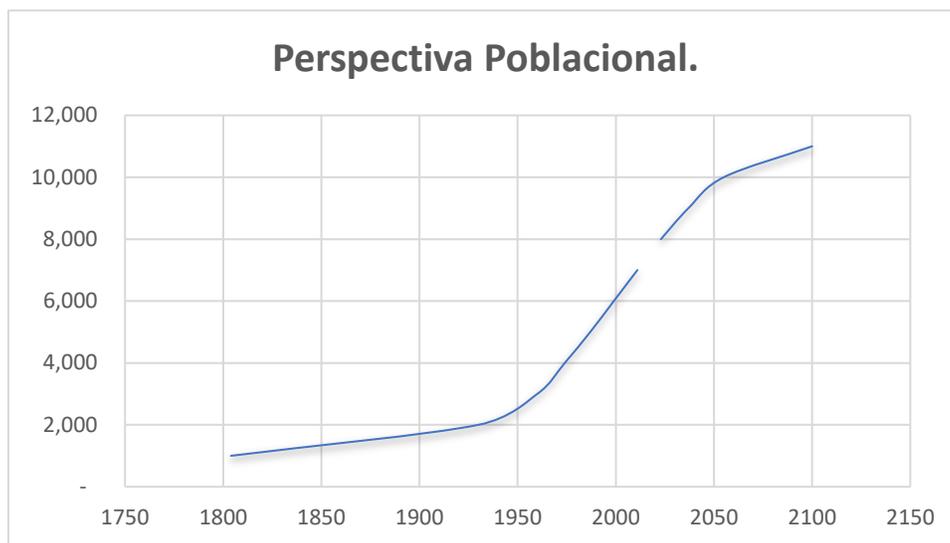
Gráfica 2. Países con mayor población.

La población humana ha crecido más allá de los medios sostenibles de la Tierra, provocando consecuencias devastadoras debido a que estamos consumiendo más recursos de los que nuestro planeta puede generar. El tema de la sobrepoblación es muy delicado y de gran importancia, porque entre más personas seamos la demanda energética será aún mayor, más personas significa mayor generación energética, mayor demanda de agua, de alimentos, de hogares y servicios, nuestro planeta no puede responder ante nuestras necesidades de demanda y el mundo natural está pagando el precio, precio que en un futuro cercano nosotros también estaremos pagando, porque no solo es la pérdida en la biodiversidad sino también el cambio climático, la contaminación, la deforestación, la escasez de agua y alimentos y a mi parecer el más importante; la escasez de los recursos energéticos que en la actualidad es una realidad, dependemos completamente de los combustibles fósiles y agregar más consumidores ocasiona que los recursos no renovables se agoten más rápido, nuestro planeta satisface también nuestras necesidades con recursos renovables, el agua limpia, aire, madera, alimentos y suelos fértiles. Sin embargo, nuestra demanda es tan grande que ahora estamos usando esos recursos a una velocidad 1.7 veces

<sup>4</sup> World Population. <http://www.worldometers.info/es/>

mayor a la que la Tierra puede renovarlos. Esa tasa ha aumentado continuamente desde la década de 1970 y a menos que cambie la situación, necesitaremos tres Tierras para satisfacer nuestras necesidades para 2050. <sup>5</sup>

La sobrepoblación es en consecuencia uno de los mayores desafíos a los que nos enfrentamos como humanidad y que amenaza el futuro casi inmediato de todo el planeta en términos económicos, ambientales y sociales. En 2019 superamos los 7,700 millones de habitantes y de acuerdo con las perspectivas de la población mundial de la ONU la población seguirá aumentando, llegando a los 8,000 millones en el 2023, a los 9,000 millones en el 2037, a los 10,000 millones en 2055 y superaremos los 11,200 millones de habitantes en la Tierra en el 2100. <sup>6</sup>



Gráfica 3. Perspectiva poblacional al año 2100.

En menos de 300 años la población mundial se habrá multiplicado por 11 y con este crecimiento la demanda de los recursos del planeta se habrá desgastado hasta un punto insostenible si el consumo de los recursos sigue en aumento como ha sido a partir de la primera revolución industrial. Conservar el planeta depende de una estrategia planetaria, que a nivel mundial deberá de cumplir cada país en la medida que sea necesario, con un compromiso individual para tener un resultado trascendente en conjunto para toda la humanidad en el mediano y largo plazo, todos con un mismo objetivo: la conservación del planeta, que no es más que la conservación de nuestra vida en la Tierra.

<sup>5</sup> Global Footprint Network <https://www.footprintnetwork.org/>

<sup>6</sup> United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, DVD Edition.

## 1.2. Cambio Climático y sus Repercusiones.

Existen muchos desafíos que tendremos que enfrentar, pero existe uno en particular que solo se podrá resolver si existe la cooperación mundial en donde todas las naciones estén comprometidas para resolver el mayor desafío de nuestro tiempo que es el Cambio Climático. Sin embargo, un problema aún más grave será la crisis energética que tendremos si no actuamos ahora ya que nos encontramos en un momento decisivo para la conservación y el desarrollo. Aquí se explica qué es el calentamiento global y cuáles son sus repercusiones en nuestra calidad de vida y en el planeta.

Los problemas ocasionados por el Cambio Climático van desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos y recursos o desastres naturales, hasta el aumento del nivel del mar que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas en grandes ciudades del mundo; los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Si no se toman medidas drásticas, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro casi inmediato, 2015 fue un año histórico en el que 196 Partes se unieron en virtud del Acuerdo de París para transformar sus trayectorias de desarrollo de modo que encaminen al mundo hacia un desarrollo sostenible, con el objetivo de limitar el calentamiento a un máximo de 1.5 a 2 grados °C por encima de los niveles preindustriales (NU, 2015b).<sup>7</sup> El desarrollo de la humanidad depende de la generación de energía y pese que el cambio climático es un problema que debemos enfrentar, la planeación de la generación energética del futuro es crucial para el desarrollo sostenible de la sociedad.

La Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático UNFCCC reconoció en 1992 que los cambios del clima de la Tierra y sus efectos son una preocupación común de toda la humanidad, debido a que las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, porque ese aumento intensifica el efecto invernadero natural, lo cual da como resultado, en promedio un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera y puede afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad. Se tiene en cuenta que tanto históricamente como en la actualidad, la mayor parte de la emisión de los gases de efecto invernadero del mundo han tenido sus orígenes en los países desarrollados, que las emisiones per cápita en los países en desarrollo todavía son relativamente reducidas y que la proporción del total de emisiones originada en esos países aumentará para permitirles satisfacer sus necesidades sociales y de desarrollo. Se reconoció que la naturaleza mundial del cambio climático requiere de una cooperación de todos los países y su participación en una respuesta internacional efectiva y apropiada, donde exista conformidad con las responsabilidades comunes pero diferenciadas, respectivas a las capacidades condiciones, sociales y económicas de cada país (Naciones Unidas, 1992).<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Naciones Unidas. (2015). Convención Marco sobre el Cambio Climático. 21930.

<sup>8</sup> Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. 62301.

El cambio climático es consecuencia de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que han venido aumentando progresivamente desde la primera Revolución Industrial. Después de más de un siglo y medio de industrialización, aumento poblacional, deforestación y agricultura a gran escala, la cantidad de los GEI en la atmósfera se han incrementado en niveles nunca vistos en tres millones de años. A medida que la población, las economías, el desarrollo y el nivel de vida crecen, también lo hace el nivel acumulado de emisiones de ese tipo de gases.

Los GEI se producen de manera natural y son esenciales para la supervivencia de los seres humanos y de millones de otros seres vivos ya que, al impedir que parte del calor del sol se propague hacia el espacio, hacen la Tierra habitable. Pero después de más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura a gran escala, las cantidades de gases de efecto invernadero en la atmósfera se han incrementado en niveles nunca vistos en tres millones de años. A medida que la población, las economías y el nivel de vida crecen, también lo hace el nivel acumulado de emisiones de ese tipo de gases. Científicamente el cambio climático se intensifica con la concentración de GEI en la atmósfera terrestre que está directamente relacionada con la temperatura media mundial de la Tierra y el GEI más abundante y que representa alrededor de dos tercios de todos los tipos de GEI, es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), resultado de la quema de combustibles fósiles.

#### 1.2.1. Cambios en el Sistema Climático.

Desde la década de 1950, muchos de los cambios observables no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. El calentamiento en el sistema climático es inequívoco, la atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de hielo y nieve han disminuido y el nivel del mar se ha elevado.

La consecuencia del cambio climático en la atmósfera es evidente, porque cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior de 1850. El periodo de 30 años comprendido entre 1983 y 2012 ha sido probablemente el más cálido en los últimos 1,400 años. Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0.65 °C a 1.06 °C, durante el periodo 1880-2012.

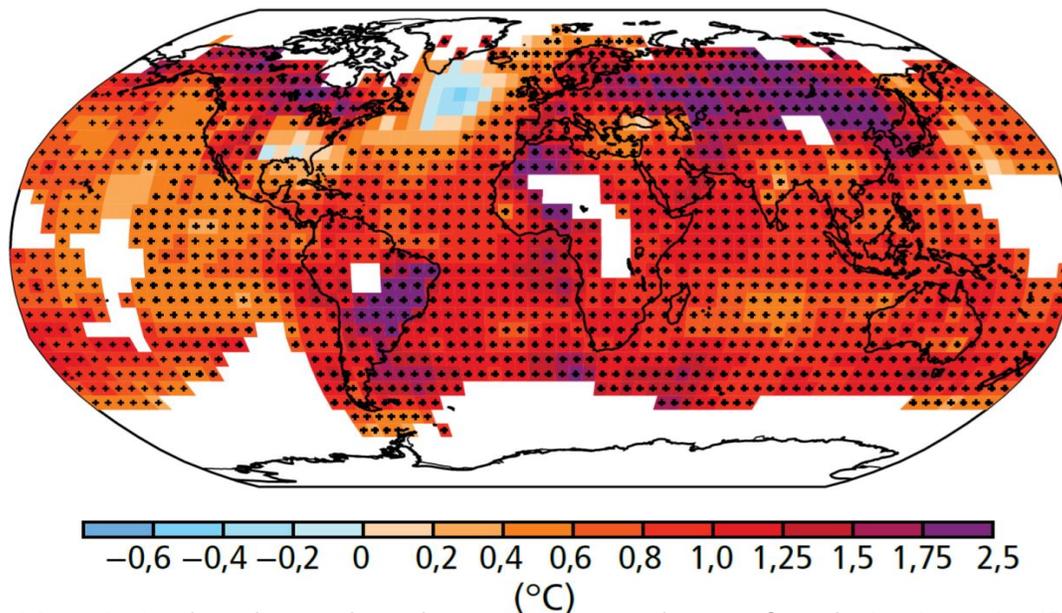
En aproximadamente 130 años el incremento de la temperatura en la superficie es de 0.85°C. Sin embargo, se han tenido registros de incrementos de hasta 2.5 °C en el norte de la Tierra, Rusia, Canadá y Estados Unidos principalmente, y también en regiones de África y de Sudamérica se ha registrado este incremento de temperatura (IPCC, 2013).<sup>9</sup> Es destacable aquí considerar que el incremento de temperatura en la Tierra es el promedio

---

<sup>9</sup> IPCC. (2013). Preguntas frecuentes Cambio climático 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

en toda su superficie y existen lugares específicos donde la temperatura ha aumentado más y otros donde ha incrementado menos.

El calentamiento del océano es el factor predominante en el incremento de la energía almacenada en el sistema climático y representa más del 90% de la energía acumulada entre 1971 y 2010, con solo alrededor del 1% almacenada en la atmósfera. A escala global, el calentamiento del océano es mayor cerca de la superficie ya que los 75 metros superiores se han calentado 0,11 °C por decenio, durante el período comprendido entre 1971 y 2010.



Es prácticamente seguro que la capa superior del océano que va desde la superficie hasta los 700 m se haya calentado entre 1971 y 2010.

Desde el comienzo de la era industrial, la incorporación de CO<sub>2</sub> en los océanos ha dado lugar a su acidificación, el pH del agua del océano superficial ha disminuido un 0.1 la concentración de iones de hidrógeno, lo que se corresponde con un aumento del 26% de la acidez.

Las regiones con alta salinidad en la superficie oceánica donde predomina la evaporación se han vuelto más salinas y las regiones con baja salinidad donde predominan las precipitaciones se han desalinizado desde la década de 1950. Estas tendencias regionales en la salinidad del océano proporcionan una evidencia indirecta de que la evaporación y la precipitación sobre los océanos han cambiado y, por tanto, de que el ciclo hidrológico mundial ha cambiado también.

Otra gran consecuencia del cambio climático es el ocasionado en la Criosfera que es el componente del sistema Terrestre que solo contiene agua en estado sólido, se encuentran en regiones cubiertas por nieve o hielo, sea tierra o mar. Incluye la Antártida, el Océano

Ártico, Groenlandia, el Norte de Canadá, el Norte de Siberia y la mayor parte de las cimas más altas de cadenas montañosas y juega un papel muy importante en la regulación del clima a nivel global. La nieve y el hielo tienen un alto porcentaje de radiación reflejada, por eso algunas partes de la Antártida reflejan hasta un 90% de la radiación solar incidente, comparado con el promedio global que es de un 31%. Sin la Criosfera, la radiación reflejada global sería considerablemente más bajo, se absorbería más energía a nivel de la superficie terrestre y como consecuencia, la temperatura atmosférica sería más alta.

En los dos últimos decenios, los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa, los glaciares han continuado disminuyendo en casi todo el mundo y el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte ha seguido reduciéndose en extensión. Los glaciares han perdido masa y han contribuido al aumento del nivel del mar a lo largo del siglo XX. Existe un nivel de confianza alto en cuanto a que existan marcadas diferencias regionales en la tendencia relativa a la extensión del hielo marino del Antártico, y es muy probable que su extensión total haya aumentado. Sin embargo, el ritmo de pérdida de hielo del manto de hielo de Groenlandia ha aumentado sustancialmente debido a que la extensión media anual del hielo marino del Ártico disminuyó entre 1979 y 2012 con una tasa de disminución de entre el 3.5% y el 4.1% por decenio. La extensión del hielo marino del Ártico ha disminuido en cada estación y en cada década sucesiva desde 1979 que representa un rango de 0.73 a 1.07 millones de km<sup>2</sup> por decenio.

La extensión media anual del hielo marino del Antártico haya aumentado entre el 1.2% y el 1.8% por decenio representando un rango de 0.13 a 0.20 millones de km<sup>2</sup> por decenio.

El aumento de las temperaturas del permafrost se ha producido en respuesta al aumento de la temperatura en superficie y a los cambios en el manto de nieve.

Una consecuencia igual de alarmante, pero a la vez inmediata es el aumento en el nivel del mar porque durante el periodo de 1901 a 2010 el nivel medio global se elevó 0.19 [m] la tasa media de elevación promediada global del nivel del mar ha sido de 1.7 mm/año entre 1901 y 2010, de 3,2 mm/año entre 1993 y 2010 lo que evidentemente es más cada año. Las tasas de aumento del nivel del mar en regiones extensas pueden ser varias veces superiores o inferiores a la elevación del nivel medio global del mar para períodos que abarcan varios decenios, debido a fluctuaciones en la circulación del océano. Desde 1993, las tasas regionales para el Pacífico occidental son hasta tres veces superiores al promedio global, mientras que las relativas a gran parte del Pacífico oriental se acercan a cero o son negativas (IPCC, 2014).<sup>10</sup>

En el último período interglaciar que se remonta a entre 129 000 y 116 000 años, durante varios miles de años el nivel medio global máximo del mar estuvo por lo menos 5 metros

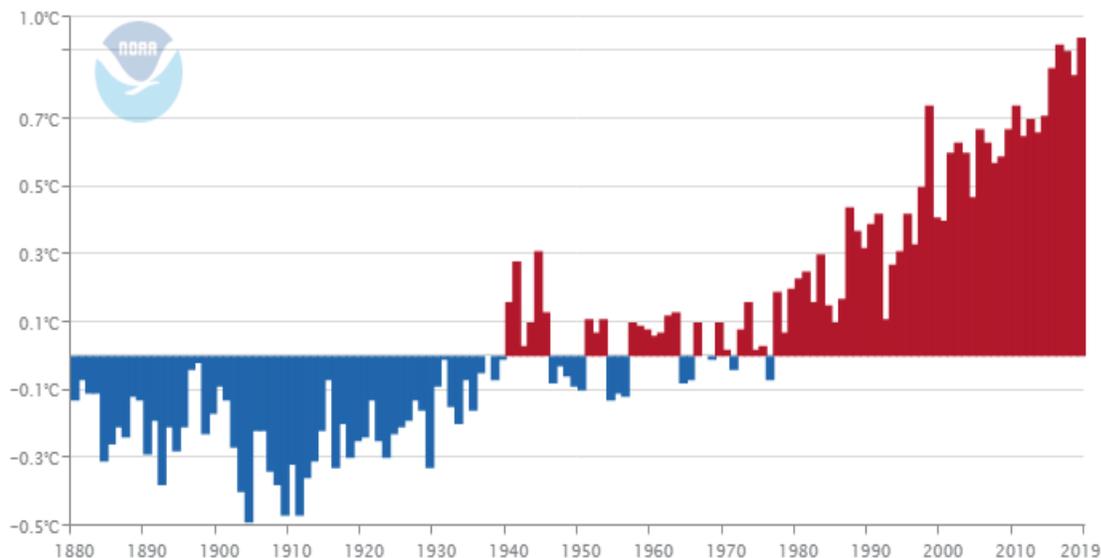
---

<sup>10</sup> IPCC. (2014) Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. In *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.

por encima del actual. Es muy probable que el manto de hielo de Groenlandia haya contribuido a la elevación del nivel medio global del mar, entre 1,4 y 4,3 m, lo que implica, que el manto de hielo de la Antártida también pudo haber contribuido a esa elevación. Ese cambio de nivel del mar se produjo en el contexto de un forzamiento orbital diferente y con una temperatura en superficie en las latitudes altas, promediada a lo largo de varios miles de años, por lo menos 2 °C más cálida que en la actualidad.

#### Global Land and Ocean

#### July Temperature Anomalies



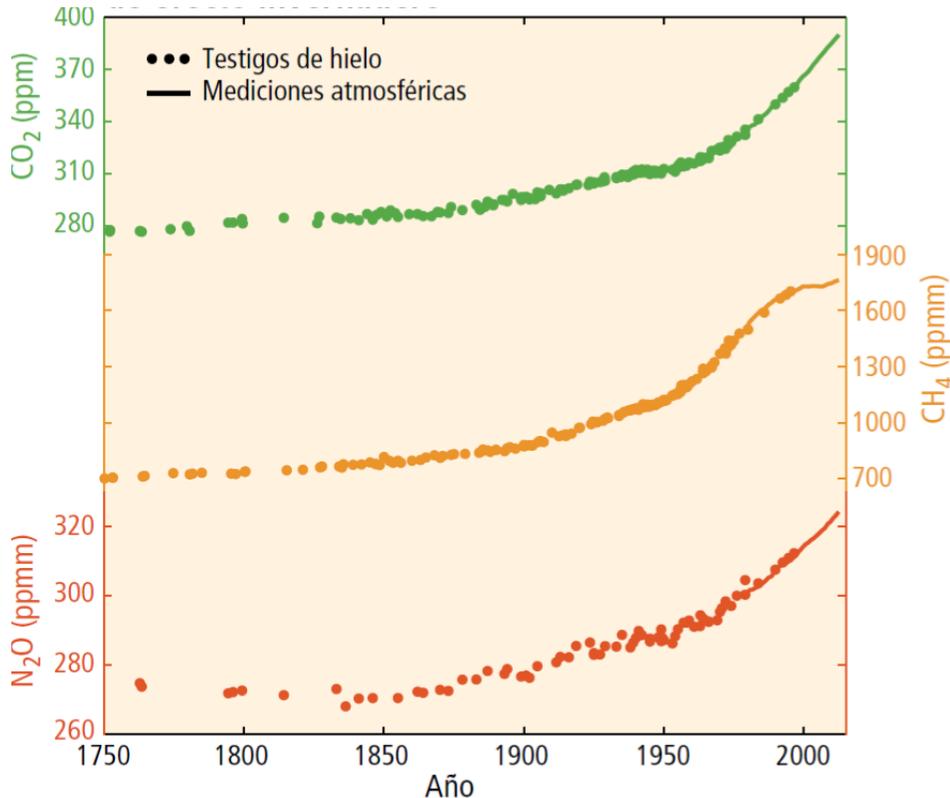
Gráfica 4. Temperatura en Julio. NOAA 2019.

De acuerdo con la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) la temperatura global de la superficie terrestre y oceánica de julio de 2019 se desvió del promedio y fue la más alta desde que los registros mundiales comenzaron en 1880 a 0.95 °C por encima del promedio del siglo XX. Este valor superó el récord anterior establecido en 2016 en 0.93 °C. Nueve de los 10 julios más cálidos han ocurrido desde 2005, con los últimos cinco años 2015-2019 clasificándose entre los cinco julios más cálidos registrados. El mes de julio de 2019 marcó el 43 ° julio consecutivo y el 415 ° mes consecutivo con temperaturas, superiores al promedio del siglo XX, es decir más de 34 años consecutivos y julio de 2016, 2017 y 2019 son los únicos que tuvieron un cambio de temperatura del promedio de 0.9 °C o superior, es decir cada año el mes de julio ha sido más caluroso que el anterior. Climatológicamente, julio es el mes más cálido del año en el mundo en 2019 se registró el julio más cálido, al menos nominalmente (NOAA, 2019).<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Centros Nacionales de NOAA para Información Ambiental, Estado del Clima  
<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201907>

### 1.2.2. Emisiones Antropogénicas.

Las emisiones antropogénicas de GEI han aumentado desde la era preindustrial, como resultado del crecimiento económico y demográfico. Las emisiones han sido históricas y han hecho que las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, metano CH<sub>4</sub> y óxido nitroso N<sub>2</sub>O alcancen niveles sin precedentes en los últimos 800,000 años mostrando un aumento del 40%, 150% y 20% respectivamente.



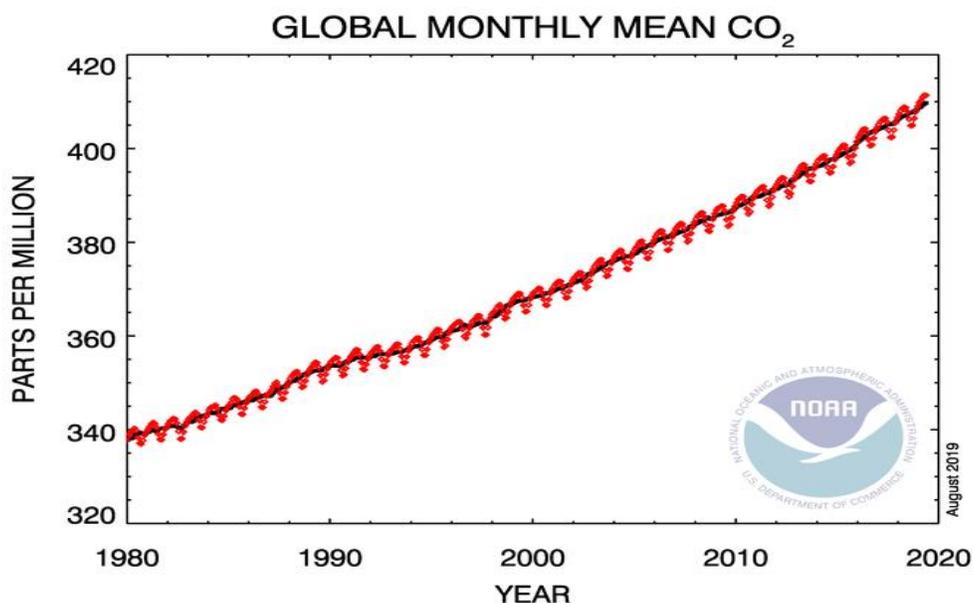
Gráfica 5. Promedio Global de Concentraciones de GEI. IPCC 2013.

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> aumentaron al mayor ritmo de cambio decenal jamás observado durante 2002 a 2011. Las concentraciones de CH<sub>4</sub>, las mediciones atmosféricas muestran un nuevo aumento significativo a partir de 1950. Las concentraciones de N<sub>2</sub>O han aumentado de manera estable a una tasa de 0,73 ppm/año en los tres últimos decenios.

Los niveles de CO<sub>2</sub> alcanzaron un pico récord en mayo de 2019 con un promedio que alcanzó un máximo de 414.8 partes por millón, según los instrumentos operados por el Instituto Scripps de Oceanografía de la Universidad de California en San Diego en el Observatorio Atmosférico de Línea Base Mauna Loa de NOAA. Sin embargo, los valores mensuales de CO<sub>2</sub> en Mauna Loa rompieron por primera vez el umbral de 400 ppm en 2014. La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera alcanzó las 415.39 partes por millón el 12 de mayo de 2019, el nivel más alto visto en unos 3 millones de años.<sup>12</sup> Antes de que existieran los

<sup>12</sup> *Ibidem.*

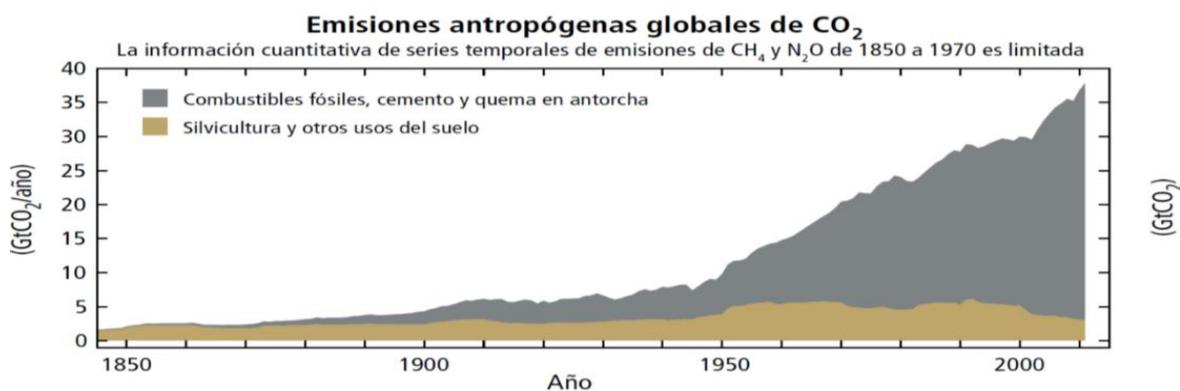
humanos. Se estima que los niveles de CO<sub>2</sub> podrían alcanzar las 500 ppm en tan solo 30 años, proceso que nos encamina a alcanzar aumentos de temperatura probablemente superiores a 3°C, el doble recomendado por el informe de Cambio Climático 2013 del IPCC y superando por 1°C el Acuerdo de París 2015, este aumento no es sostenible en términos del uso energético y ambientales, porque si se llega a este nivel causaría daños extremos en el clima, el aumento del nivel del mar que pondrían en peligro los suministros mundiales de alimentos, lo que causaría migraciones masivas e incluso se destruiría la selva amazónica a través de la sequía y el fuego.



Gráfica 6. Curva de Keeling. NOAA 2019.

El científico de la principal de la División de Monitoreo Global de NOAA Pieter Tans dijo ""Es de vital importancia tener estas mediciones precisas de CO<sub>2</sub> a largo plazo para comprender qué tan rápido la contaminación por combustibles fósiles está cambiando nuestro clima".

13

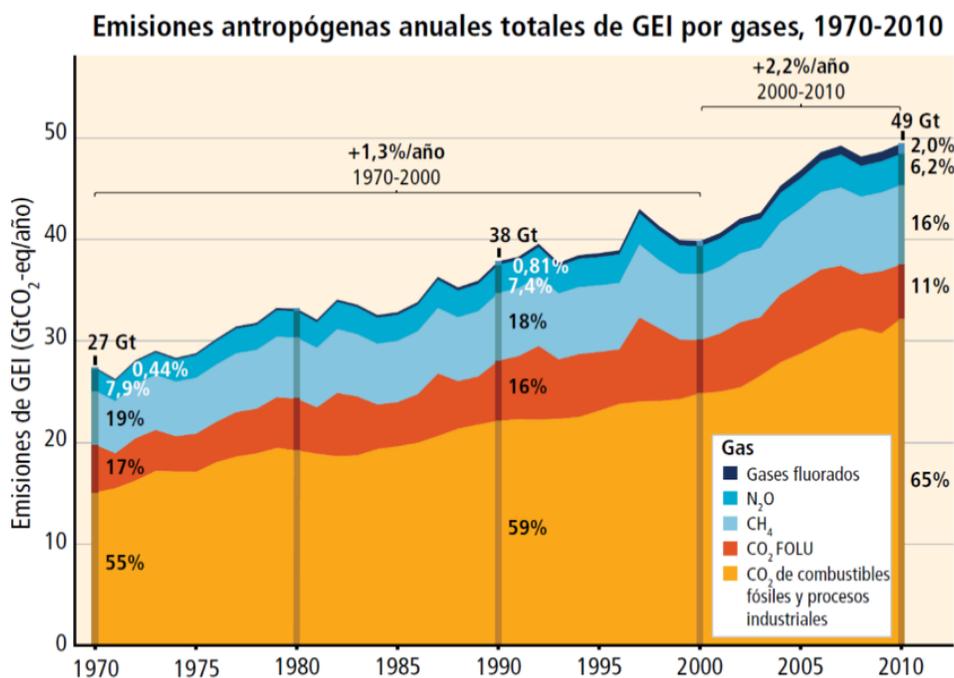


Gráfica 7. Emisiones Antropogénicas globales de CO<sub>2</sub>

<sup>13</sup> Scripps Institution of Oceanography. <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/2019/06/04/carbon-dioxide-levels-hit-record-peak-in-may/>

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha venido en aumento cada año y la tasa de aumento también se está acelerando. Los primeros años de 1958 a 1974 en Mauna Loa registraron aumentos anuales de un promedio de aproximadamente 0.7 ppm por año, aumentando a aproximadamente 1.6 ppm por año en la década de 1980 y 1.5 ppm por año en la década de 1990. La tasa aumentó a 2.2 ppm por año durante la primera década del 2000 y unos 3 ppm durante los últimos años.

De acuerdo con Pieter Tans se han hecho muchas propuestas para mitigar el calentamiento global ocasionado por las emisiones de GEI, pero sin una disminución rápida de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los combustibles fósiles, al contrario, las emisiones antropogénicas anuales totales de gases de efecto invernadero han seguido aumentando entre 1970 y 2010 con mayores incrementos absolutos entre 2000 y 2010. El CO<sub>2</sub> ha sido el principal impulsor del cambio climático a pesar de un número creciente de políticas de mitigación del cambio climático, las emisiones anuales de gases de efecto invernadero crecieron en promedio 1 Gt CO<sub>2</sub>-equivalente al año, de 2000 a 2010, frente a 0.4 Gt CO<sub>2</sub>-equivalente al año de 1970 a 2000.<sup>14</sup>



Gráfica 8. Emisiones Antropogénicas Anuales Totales de GEI por gases. IPCC 2013.

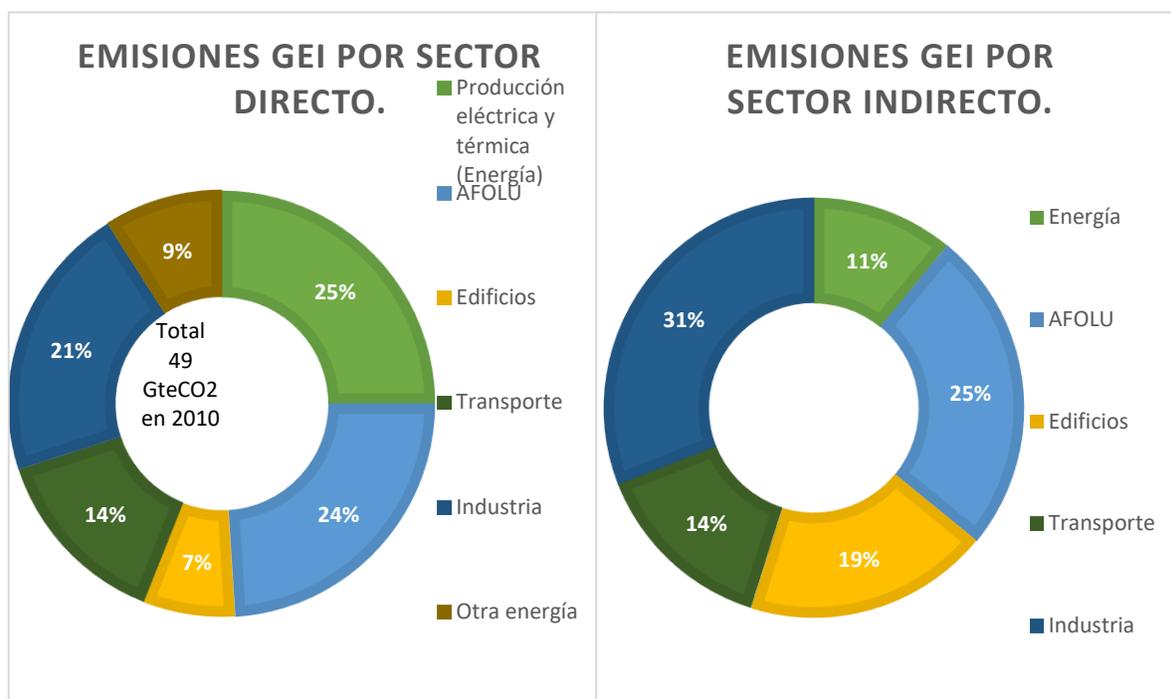
Las emisiones antropogénicas globales anuales de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de combustibles fósiles, la producción de cemento, la quema en antorcha y la silvicultura y otros usos del suelo (FOLU) de 1850 a 2011 han aumentado anualmente, solamente la crisis económica de 2008 redujo las emisiones temporalmente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> han aumentado significativamente superando 37 GtCO<sub>2</sub> en 2010. El CO<sub>2</sub> sigue siendo el principal gas de efecto invernadero antropogénico y representó en 2010 el 65% de las emisiones

<sup>14</sup> *Ibidem.*

antropogénicas totales de gases de efecto invernadero. De la cifra total el 16% procedía del metano (CH<sub>4</sub>) el 6,2% del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el 2,0% de gases fluorados sumando un total de 49 GtCO<sub>2</sub>.

### 1.2.3. Emisiones Energéticas por Sector.

Las emisiones de gases de efecto invernadero en 2012 superó las 53.5 GteCO<sub>2</sub>, el 34% de las emisiones directas netas fueron liberadas por el sector de la energía, el 24% por el sector AFOLU, el 21% por la industria, el 14% por el transporte y el 7% por los edificios. Si las emisiones procedentes de la producción de eléctrica y térmica se atribuyen a los sectores que utilizan la energía final o emisiones indirectas, los porcentajes de los sectores de la industria y los edificios en las emisiones globales de los GEI ascienden al 31% y al 19% respectivamente.



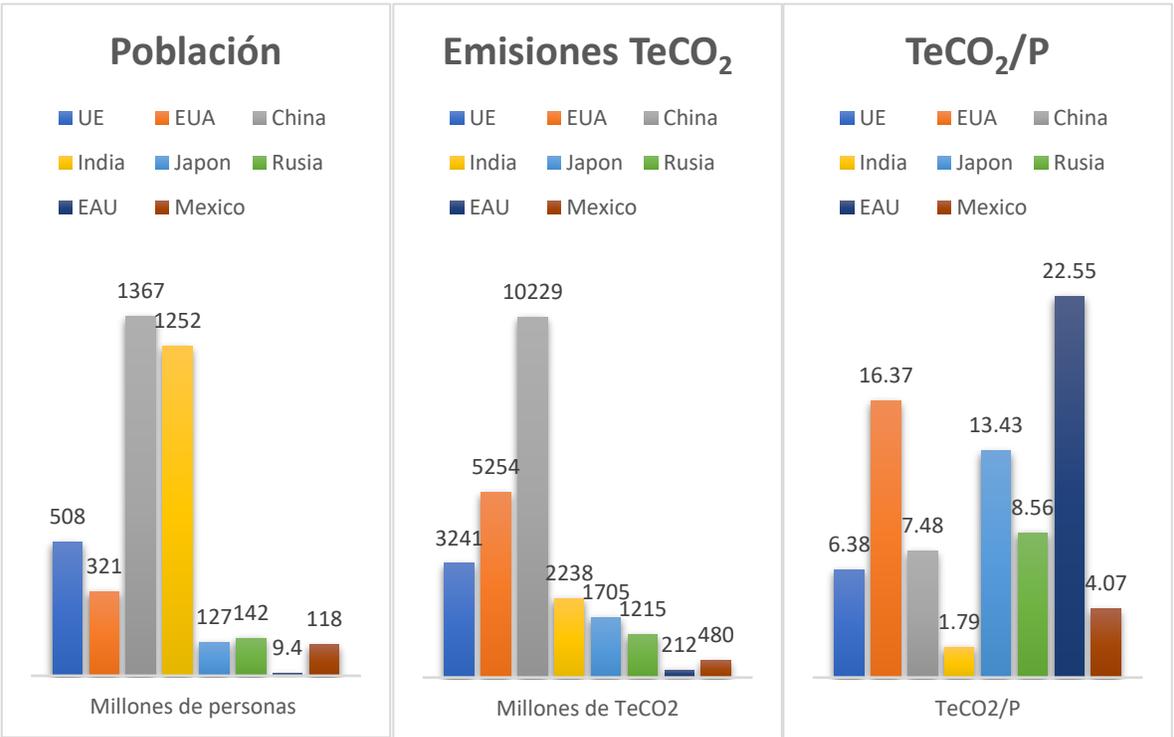
Gráfica 9. Emisiones de GEI por Sector.

Las emisiones de CO<sub>2</sub>-equivalente constituye una escala común para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero, otra energía se refiere a todas las fuentes de emisión de GEI del sector de la energía, excepto la producción eléctrica y térmica, AFOLU se refiere a las emisiones de la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo comprenden las emisiones terrestres de CO<sub>2</sub> debidas a incendios forestales, incendios y descomposición de turba.

A nivel mundial, el crecimiento económico y el crecimiento demográfico continúan siendo los impulsores más importantes de los aumentos en las emisiones de CO<sub>2</sub> provocadas por la combustión de combustibles fósiles. Las emisiones de gases de efecto invernadero están directamente relacionadas con el consumo energético mundial incluyendo los sectores de

energía, edificios, transporte e industria sumando más del 75% del total de las emisiones de GEI lo que equivale a 40 GteCO<sub>2</sub> y el 25% restante es el sector de agricultura, silvicultura y otros usos de suelo. Entre más crecimiento económico y demográfico las emisiones van a seguir aumentando, porque necesitaremos más energía para vivir dando como resultado el agotamiento de los recursos energéticos que no son infinitos.

En 2020 somos más de 7,770 millones de personas habitando la Tierra y cada uno de nosotros en cierta medida somos responsables del calentamiento global, porque todos nos alimentamos y todos necesitamos recursos para poder vivir y seguir desarrollándonos como sociedad, sin embargo, no todos los contaminamos igual. En 2014 China el país más poblado del mundo con una población en de 1,367 millones de personas tuvo una emisión de 10,229 millones de TeCO<sub>2</sub> contribuyendo con el 28.8% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> siendo también el país que más contamina en el mundo, Estados Unidos teniendo una población de 321 millones de personas siendo menos de la cuarta parte de China emitió poco más de la mitad de CO<sub>2</sub> que China con un total de 5,254 millones de TeCO<sub>2</sub> contribuyendo con el 15% del dióxido de carbono emitido en 2014, el tercer emisor importante de CO<sub>2</sub> es la Unión Europea que a pesar de contar con 28 países tiene solo 508 millones de habitantes y contribuye con 3,241 millones de TeCO<sub>2</sub> que representa el 9% del total de las emisiones, otro caso importante es India con una población de 1,252 millones de personas más del doble que la Unión Europea sin embargo contribuye con el 6% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Japón, Rusia y México contribuyen 4.7%, 3.1% y 1.3% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> respectivamente y los Emiratos Árabes Unidos contribuyen solamente con el 0.58%.



Gráfica 10. Emisión de CO<sub>2</sub> per cápita.

Todos somos parte de los problemas que estamos y vamos a enfrentar debido al uso irracional de energía, la sobrepoblación y al crecimiento económico, sin embargo, no todos contribuimos de la misma manera y tampoco contamos con la misma calidad de vida en el mundo, por lo que el consumo per cápita de recursos naturales y energéticos es muy diferente en cada país y como consecuencia las emisiones de CO<sub>2</sub> igual son diferentes, en la última grafica se muestra esta desigualdad siendo los Emiratos Árabes Unidos uno de los países con la emisión per cápita más alta contribuyendo cada persona con 22.55 toneladas de dióxido de carbono, lo equivalente a lo que contaminarían 13 personas en India, sin embargo, la población en la India es 133 veces mayor que la población en los Emiratos Árabes Unidos, otro claro ejemplo es que China contamina 21 veces más que México pero tiene una población solamente 11 veces mayor a México, esto quiere decir que cada chino tiene una emisión de gases de efecto invernadero per cápita 2 veces mayor a cada mexicano.

Es evidente que las soluciones se deben abordar de manera distinta en cada país, la sociedad y el gobierno por país debe afrontar medidas que ayuden al desarrollo sostenible del planeta entero iniciando con soluciones específicas de manera que el desarrollo se pueda dar en todos los países, pero incrementando la sostenibilidad. No puede haber más desarrollo económico si estamos acabando cada día más rápido con nuestros recursos energéticos, que por consecuencia emiten gases de efecto invernadero y ponen en riesgo nuestra existencia como ahora la conocemos en la Tierra.

Está claro que debe existir cooperación internacional para afrontar individualmente y colectivamente los problemas y la cooperación de las grandes potencias será fundamental así como su disminución en el consumo energético, los países en vías de desarrollo juegan un papel importante porque el desarrollo económico y la explotación de los recursos ha venido en aumento significativamente y aquí; la eficiencia, el uso racional de energía y el desarrollo tecnológico serán los factores que ayuden a disminuir la demanda energética y por consecuencia disminuir las emisiones de GEI. Por último, los países subdesarrollados son los que menos recursos económicos tienen, pero respecto a los objetivos de desarrollo sostenible que tiene la Organización de Naciones Unidas debemos erradicar la pobreza para que todos tengamos una vida digna, sin hambre, con agua limpia, electricidad y trabajo para que puedan desarrollarse. En la medida que estos países tengan mejor vida la demanda energética aumentará y aquí la planeación de las ciudades, la disminución del aumento demográfico y el desarrollo de tecnologías sostenibles serán clave para afrontar los problemas con realismo.

### 1.3. Acuerdos y Compromisos Internacionales: Rumbo al Desarrollo Sostenible.

El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987).<sup>15</sup>

#### 1.3.1. Naciones Unidas y los Decenios Internacionales de Desarrollo.

Después la segunda guerra mundial se crea la Organización de Naciones Unidas el 24 de octubre de 1945 cuando representantes de 50 países, que representaban el 80% de la población mundial, se unen en la conferencia de San Francisco para redactar la Carta de las Naciones Unidas. Ese día la carta fue ratificada por Estados Unidos, Francia, Reino Unido, la Unión Soviética y China, siendo estos cinco países miembros permanentes y teniendo el poder del veto del Consejo de Seguridad de Naciones Unidas.

Los propósitos redactados en la carta de Naciones Unidas son:

1. Mantener la paz y la seguridad internacionales y con tal fin: tomar medidas colectivas eficaces para prevenir y eliminar amenazas a la paz y para suprimir actos de agresión u otros quebrantamientos de la paz; y lograr por medios pacíficos y de conformidad con los principios de la justicia y del derecho internacional, el ajuste o arreglo de controversias o situaciones internacionales susceptibles de conducir a quebrantamientos de la paz;
2. Fomentar entre las naciones relaciones de amistad basadas en el respeto al principio de la igualdad de derechos y al de la libre determinación de los pueblos y tomar otras medidas adecuadas para fortalecer la paz universal;
3. Realizar la cooperación internacional en la solución de problemas internacionales de carácter económico, social, cultural o humanitario, en el desarrollo y estímulo del respeto a los derechos humanos y a las libertades fundamentales de todos, sin hacer distinción por motivos de raza, sexo, idioma o religión; y
4. Servir de centro que armonice los esfuerzos de las naciones por alcanzar estos propósitos comunes (NU, 1945).<sup>16</sup>

Desde la creación de Naciones Unidas uno de sus principales objetivos ha sido el de promover el progreso, igualdad y desarrollo de todas las naciones, De 1961 a 1970 se llevó a cabo el primer decenio Internacional de Naciones Unidas para el Desarrollo para promover el progreso social y elevar el nivel de vida dentro de un concepto más alto de la libertad, empleando instituciones internacionales para fomentar el progreso económico y social de todos los pueblos, considerando que el desarrollo económico y social de los países poco desarrollados económicamente era fundamental para el logro de la paz y la seguridad internacional y para alcanzar una mayor prosperidad mundial. En este periodo, los Estados

---

<sup>15</sup> Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. Documentos de Las Naciones, Recolección de Un ..., 416.

<sup>16</sup> Carta de Naciones Unidas 1945. Artículo 1.

Miembros intensificaron sus esfuerzos al desarrollo, con el objetivo de obtener y mantener apoyo a las medidas que los países desarrollados y los que estaban en proceso de desarrollo debían adoptar, con el fin de acelerar el avance hacia una situación en la que el crecimiento de la economía de las diversas naciones y su progreso social se sostuviera por sí mismo, de modo que cada país que no estaba desarrollado lograra un considerable aumento en el ritmo de crecimiento, fijando cada país su propia meta pero tomando como objetivo un ritmo mínimo anual de crecimiento del 5% en el ingreso nacional global al finalizar el decenio (NU, 1961).<sup>17</sup>

Los estados Miembro designaron el decenio de 1971-1980 como Segundo Decenio de Naciones Unidas para el Desarrollo y se comprometieron, individual y colectivamente, a seguir las políticas destinadas a crear un orden económico y social mundial más justo y racional, en el que la igualdad de oportunidades sea beneficio tanto de las naciones como de los individuos que componen una nación. Teniendo como meta que la tasa media de crecimiento anual del producto bruto de los países en desarrollo debería ser por lo menos de 6% anual, con la posibilidad de lograr en la segunda mitad del decenio una tasa más elevada. Teniendo como finalidad que el desarrollo es dar a todos mayores oportunidades de una vida mejor, se tenía que lograr una distribución más equitativa del ingreso y la riqueza elevando sustancialmente el nivel de empleo, lograr un nivel más alto de seguridad de ingreso, ampliar y mejorar la educación, sanidad, nutrición, vivienda, asistencia social y salvaguardar el medio (NU, 1970).<sup>18</sup>

Para el Tercer Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 1981- 1990, se dijo que parte integrante de los esfuerzos de la comunidad internacional por establecer un nuevo orden económico internacional tenía como objetivo acelerar el desarrollo de los países en desarrollo, ya que al contribuir a resolver los problemas económicos internacionales esto ayudaría en gran medida a lograr un desarrollo económico mundial sostenido y promovería la consecución de la meta última del desarrollo: mejorar la situación de todos. En esta economía interdependiente, todos los gobiernos tienen la responsabilidad de contribuir al logro de las metas y los objetivos de las estrategias políticas implementadas. En este decenio cada país en desarrollo fijó su propia meta de crecimiento debido a sus circunstancias particulares, para alcanzar las metas y los objetivos de la Estrategia Internacional del Desarrollo; sin embargo, la tasa anual media de crecimiento del Producto Interno Bruto debería ser del 7%. Esto provocaría la aceleración del ritmo de la producción en los países en desarrollo y exigiendo como consecuencia una expansión y diversificación rápida del comercio internacional (NU, 1980a).<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> Naciones Unidas. (1961). Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo: programa de cooperación económica internacional. In Onu (p. 2).

<sup>18</sup> Naciones Unidas. (1970). Estrategia Internacional del Desarrollo para el Segundo Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

<sup>19</sup> Naciones Unidas. (1980a). Estrategia Internacional del Desarrollo para el Tercer Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

La meta principal de la Estrategia era lograr que el decenio de 1991 a 2000 fuera un decenio de desarrollo acelerado en los países en desarrollo y de fortalecimiento de la cooperación internacional. Este cuarto decenio se intentó caracterizar por un mejoramiento significativo de la condición humana en los países en desarrollo y una reducción de la separación entre países ricos y pobres. Se habló de que, en este decenio, por primera vez, debían encontrarse medios para que la comunidad mundial satisficiera sus necesidades sin perjudicar el medio ambiente. También este decenio debía lograr que aumentara la participación de hombres y mujeres en las cuestiones políticas y económicas, así como proteger las identidades culturales y garantizar a todos los medios necesarios para sobrevivir (NU, 1990).<sup>20</sup>

En materia de energía durante estos decenios se dijo que a fin de crear condiciones favorables para el desarrollo de países en desarrollo y el crecimiento de la economía mundial en general, se tenían que intensificar los esfuerzos para aprovechar y ampliar todos los recursos energéticos del mundo en la búsqueda de una solución a largo plazo al problema de energía. La comunidad internacional tenía que hacer progresos sustanciales y rápidos en la transformación de la economía internacional, que se basa primordialmente en los hidrocarburos. Debido al carácter limitado de las reservas de combustibles fósiles en la economía mundial, se tendría que adoptar con urgencia medidas eficaces para su conservación y mejorar las adoptadas en los países desarrollados, que consumen la mayor porción de la producción mundial de hidrocarburos. Teniendo en cuenta que en los años siguientes las necesidades en materia de energía en los países en desarrollo seguirían aumentando y esto pondría límites a su capacidad energética y de desarrollo.

### 1.3.2. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano, Estocolmo 1972.

El interés hacia la crisis ambiental en el ámbito político tuvo lugar a finales de los sesenta y a principios de los setenta del siglo pasado, donde se impulsó gracias a una serie de informes científicos y tuvo una instancia decisiva en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano reunida en Estocolmo, Suecia, del 5 al 16 de junio de 1972, declaración que atenta a la necesidad de un criterio y principios comunes que ofrezcan a los pueblos del mundo inspiración y guía para preservar y mejorar el medio humano. Se plantearon diferentes formas de entender y asumir el problema de la crisis ambiental por parte de los países desarrollados y los países en desarrollo, se proclamó en la Conferencia que el hombre debe hacer constantemente reflexión de su experiencia y continuar descubriendo, inventando, creando y progresando.

Se concluyó que la capacidad del hombre de transformar lo que nos rodea, utilizada con discernimiento, puede llevar a todos los pueblos los beneficios del desarrollo y ofrecerles la oportunidad de dignificar su existencia. Si se aplica errónea o imprudentemente, el mismo

---

<sup>20</sup> Naciones Unidas. (1990). Estrategia Internacional del Desarrollo para el Cuarto Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

poder puede causar daños incalculables al ser humano y a su medio. A nuestro alrededor vemos multiplicarse las pruebas del daño causado por el hombre en muchas regiones de la Tierra: niveles peligrosos de contaminación del agua, el aire, la tierra y los seres vivos; grandes trastornos del equilibrio ecológico de la biosfera; destrucción y agotamiento de recursos insustituibles y graves deficiencias, nocivas para la salud física, mental y social del hombre, en el medio por él creado, especialmente en aquel en que vive y trabaja (ONU-HABITAT, 1972).<sup>21</sup>

Se expresaron veintiséis principios en la declaración de Estocolmo. El principio uno dice: “El hombre tiene el derecho fundamental a la libertad, la igualdad y el disfrute de condiciones de vida adecuadas en un medio de calidad tal que le permita llevar una vida digna y gozar de bienestar y tiene la solemne obligación de proteger y mejorar el medio para las generaciones presentes y futuras.” mientras que el principio ocho dice: “ El desarrollo económico y social es indispensable para asegurar al hombre un ambiente de vida y trabajo favorable y crear en la Tierra las condiciones necesarias para mejorar la calidad de la vida.” Estos dos principios son en la actualidad los que rigen a la sociedad porque nuestro derecho es ser libres, ser iguales y contar con una vida digna y gozar de bienestar, basándonos en el desarrollo económico para crear las condiciones necesarias para mejorar la vida y teniendo la obligación de proteger y mejorar el medio ambiente para nosotros y para las futuras generaciones. La Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, en Estocolmo 1972, con la representación de 113 países marcó un antes y un después sobre la problemática ambiental, porque se introdujo por primera vez y de manera efectiva en la política internacional y porque fue el primer intento en armonizar los objetivos tradicionales de desarrollo con la protección de la naturaleza y la conciencia ambiental.

### 1.3.3. Los Límites del Crecimiento.

Se realizaron distintos estudios científicos que se caracterizaron por hablar abiertamente de la crisis ambiental antes de 1972 que advertían de los riesgos medioambientales debido a los recursos limitados de nuestro planeta, la explosión demográfica, los efectos de la industrialización y los espacios finitos para la contaminación, reconociendo que un aumento indefinido, sea del tipo que sea, no puede ser sostenido por recursos finitos y que para caminar a una sociedad estable que pueda ser sostenible se propone un sistema social dentro del cual se pueda trabajar con las siguientes condiciones: perturbar mínimamente los procesos ecológicos, conservar al máximo las materias primas y recursos energéticos y tener una población estable, que para este caso de estudio específico, el análisis de los recursos energéticos es fundamental para poder construir un modelo energético sostenible.

De todos los informes científicos publicados, el divulgado por el Club de Roma, un grupo internacional de distinguidos empresarios, estadistas y científicos, fue el que tuvo mayor

---

<sup>21</sup> ONU-HABITAT. (1972). Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano.

divulgación y repercusión, contribuyendo a establecer un debate sobre temas ambientales en el ámbito político internacional. *Los límites del crecimiento*.<sup>22</sup> Publicado en 1972 describía las perspectivas de crecimiento en la población humana y la economía global durante el siglo XXI, estudiando las causas y consecuencias a largo plazo del crecimiento de la población, el capital industrial, la producción de alimentos, el consumo de recursos y la contaminación, para poder seguir el rastro de estas variables interactuantes y proyectar los posibles escenarios hacia el futuro, crearon en el Massachusetts Institute of Technology un modelo de ordenador denominado World3 asociando las cinco variables.

La primera proyección se programó tomando los datos de las tendencias de 1972 y los límites se alcanzaban por agotamiento de los recursos no renovables, la segunda proyección se programó con el problema resuelto del agotamiento de los recursos no renovables y el colapso se dio nuevamente debido a la contaminación producida por la industrialización acelerada causada por la disponibilidad de recursos, la tercer proyección además de la disponibilidad de recursos incluía estrategias tecnológicas para reducir la contaminación a un cuarto del nivel de 1970, esta vez los límites del crecimiento se dieron por alcanzar la escasez de alimentos producida por excesiva demanda de la tierra cultivable. Así se siguieron programando modelos para resolver la causa inmediata del colapso del crecimiento. El resultado de todos los modelos es que el final del crecimiento será antes del año 2100, sin embargo, en 1992 el Club de Roma planteó este plazo para el año 2050 en el libro *Más allá de los límites del crecimiento*.<sup>23</sup>

#### 1.3.4. Estrategia Mundial Para la Conservación.

En 1980 la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN elaboró la Estrategia Mundial para la Conservación diciendo que: “los seres humanos, en su búsqueda del desarrollo económico y del goce de las riquezas naturales, deberán hacer frente a la realidad de lo limitado que son los recursos y la capacidad de los ecosistemas y deberán tener en cuenta las necesidades de las generaciones futuras”. Éste fue el mensaje de la conservación, puesto que, si bien la finalidad del desarrollo es proporcionar el bienestar social y económico, el objetivo de la conservación es, en cambio, el de mantener la capacidad de la Tierra para sostener el desarrollo y respaldar la vida. Porque existen dos características que distinguen nuestra era: La primera reside en la capacidad casi ilimitada que tenemos los seres humanos para construir y crear, con su contraparte de poderes de igual magnitud para destruir y aniquilar. La segunda es la interdependencia global de las diversas acciones que tiene como consecuencia la responsabilidad global que crea la necesidad de estrategias globales, tanto para el desarrollo como para la conservación de la naturaleza y de los recursos naturales (NU, 1980).<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> Donella H. Meadows. *Los límites del crecimiento*. Nueva York. 1972.

<sup>23</sup> D. H. Meadows. D. L. Meadows. J. Randers. *Más allá de los límites del crecimiento*. Nueva York. 1992.

<sup>24</sup> NU (Naciones Unidas). (1980). *Estrategia mundial para la conservación*.

La Estrategia Mundial para la Conservación tuvo como finalidad contribuir al logro de un desarrollo sostenido mediante la conservación de los recursos vivos y proporcionó un marco intelectual y una guía práctica para las labores de conservación que en ese momento eran necesarias emprender, diciendo que el desarrollo y la conservación son equivalentes en cuanto a su importancia para nuestra supervivencia y para el cumplimiento de nuestra responsabilidad, siendo los administradores de los recursos naturales que necesitaran las generaciones futuras.

La conservación de los recursos para un desarrollo sostenido se planteó en la Estrategia Mundial para Conservación debido a que las actividades humanas estaban y continúan reduciendo paulatinamente la capacidad que tiene nuestro planeta de mantener la vida, como consecuencia del aumento poblacional y del consumo creciente de los recursos. Mientras no se adopte una nueva ética del medio ambiente, no se establezca la población mundial y hasta que un tipo sostenido de desarrollo se convierta en la regla, el mundo se seguirá deteriorando. Durante el tercer Decenio del Desarrollo de las Naciones Unidas que fue en el decenio de los años de 1980, los esfuerzos de la comunidad internacional, con el objetivo de abolir los principales obstáculos para el desarrollo y elevar el nivel de vida de los pobres de manera rápida y sostenida, esperando que la Estrategia permitiera a los gobiernos, a los organismos intergubernamentales, a las organizaciones privadas y a los individuos que cooperaran entre sí, utilizando los recursos disponibles con mayor eficacia para tener como resultado perspectivas de conservación y de un desarrollo sostenido.

#### 1.3.5. Informe Brundtland.

El informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, titulado Nuestro Futuro Común o Informe Brundtland, Oslo, Noruega, 1987, fue un programa global para el cambio de la Asamblea General de la Naciones Unidas en el que se propusieron estrategias medioambientales a largo plazo para alcanzar un desarrollo sostenible para el año 2000 y el futuro, donde la preocupación por el medio ambiente debía traducirse en una mayor cooperación entre los países desarrollados y en desarrollo, estableciendo objetivos comunes y complementarios que tuviesen en cuenta la interrelación entre los hombres, los recursos, el medio ambiente y el desarrollo, examinando las causas y medios mediante los cuales la comunidad internacional podía tratar eficazmente todos los problemas relacionados con el medio ambiente y el desarrollo, que por primera vez se comprendía que estaban completamente ligados, y ayudó a definir las percepciones compartidas sobre cuestiones medioambientales a largo plazo para que se realizaran los esfuerzos pertinentes y necesarios para poder resolver con éxito los problemas de protección y mejoramiento del medio ambiente. También colaboró con un programa de acción a largo plazo para los futuros decenios y ayudó a establecer los objetivos a los que aspira la comunidad mundial.

En el informe Brundtland se habló por primera vez del desarrollo sostenible, que es aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias

necesidades. El nuevo concepto de desarrollo sostenible implica límites, pero no absolutos, sino limitaciones que imponen a los recursos del medio ambiente, el estado, la tecnología, la organización social y la capacidad de la biosfera de absorber los procesos de la actividad humana. La tecnología y la organización social podían ser ordenadas y mejoradas de manera que abrieran el camino de una nueva era de crecimiento económico. La comisión creía que la pobreza general no era inevitable, ya que el desarrollo sostenible exige que se satisfagan las necesidades básicas de todos y que se extienda a todos la oportunidad de colmar sus aspiraciones a una vida mejor, porque la satisfacción de las necesidades esenciales exige no solo una nueva era de crecimiento económico para las naciones donde los pobres constituyen la mayoría, sino la garantía de que estos pobres recibirían la parte que les corresponde de los recursos necesarios para sostener su crecimiento. Por su parte, el desarrollo sostenible es a nivel mundial, exige que los países que son más ricos adopten modos de vida acordes con medios que respeten la ecología del planeta, en el uso de energía principalmente. Además, la rapidez del crecimiento poblacional intensifica cada vez más la presión sobre los recursos y retardan el progreso del nivel de vida. En 1987 se superaron los 5,000 millones de habitantes, concluyendo que el desarrollo sostenible puede proseguir únicamente si el tamaño y el crecimiento de la población están acordes con las cambiantes posibilidades de producción del ecosistema, porque el desarrollo sostenible no es un estado de armonía fijo, sino un proceso de cambio, porque depende de la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación de los progresos tecnológicos y la modificación de las instituciones que se vuelven acordes con las necesidades presentes al igual que las futuras, apoyándose de la voluntad política (Brundtland, 1987).<sup>25</sup>

Desde 1987 se pensó que se deben idear rápidamente estrategias que permitieran a las naciones apartarse de sus actuales procesos de crecimiento y desarrollo, a menudo de carácter destructivo, y seguir la visión del desarrollo sostenible porque haría que en todos los países se realizaran cambios en lo que respecta al propio desarrollo y a las repercusiones que éste tenía sobre las posibilidades de desarrollo de las demás naciones. Los objetivos decisivos para la política sobre el informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que surgieron del concepto de desarrollo sostenible son: revitalizar y cambiar la calidad del crecimiento; satisfacer las necesidades esenciales de trabajo, alimentos, energía, agua e higiene en los países pobres, asegurar un nivel de población aceptable para conservar y acrecentar la base de recursos, reorientar la tecnología así como controlar los riesgos y por último tener en cuenta el medio ambiente y la economía en la adopción de decisiones.

El concepto de desarrollo sostenible fue diseñado en el informe Brundtland para satisfacer los requisitos de los partidarios del desarrollo económico, así como los requisitos de los que están interesados en la conservación medioambiental.

---

<sup>25</sup> Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. Documentos de Las Naciones.

En materia energética se dijo que la energía era indispensable para la supervivencia debido a que el desarrollo futuro iba a depender esencialmente de la disponibilidad a largo plazo de cantidades cada vez mayores de energía procedente de fuentes seguras, inocuas y apropiadas con el medio ambiente, porque en ese momento no se disponía de ninguna fuente o combinación de fuentes de energía que permitiera satisfacer la necesidad para un futuro sostenible. Sin embargo, el crecimiento de la demanda energética que provocó la industrialización, la urbanización y la prosperidad social en algunos países provocó también en el mundo una distribución exageradamente desigual del consumo de energía primaria, porque la cuarta parte de la población mundial consumía tres cuartas partes de la energía primaria mundial.

Respecto a los problemas ambientales, el Informe Brundtland explica que la quema de combustibles fósiles y la pérdida de los bosques consecuencia del crecimiento urbano industrial originan la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. La concentración de dióxido de carbono en la época preindustrial era de 280 partes por millón, esta concentración ascendió a 340 partes por millón en 1980 y en mayo de 2019 se superaron las 415 partes por millón. Las perspectivas indican que seguirá aumentando. Estimaron que, de continuar con esa tendencia, la concentración combinada de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera podría producir un aumento en la temperatura media mundial superior a la registrada en la historia de la humanidad.

#### 1.3.6. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río 1992.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida también como Cumbre para la Tierra, se llevó a cabo en Río de Janeiro, Brasil, del 3 al 14 de junio de 1992, durante el vigésimo aniversario de la primera Conferencia Internacional sobre el Medio Humano aprobada en Estocolmo en 1972. Reafirmandola y basándose en ella, se reunieron políticos, científicos, organizaciones no gubernamentales de 179 países, en un esfuerzo para reconciliar el impacto de las actividades socioeconómicas humanas en el medio ambiente y viceversa.

La Cumbre para la Tierra reconoció internacionalmente el hecho de que la protección del medio ambiente y la administración de los recursos naturales deben integrarse en las cuestiones socioeconómicas de pobreza y subdesarrollo, marcando un momento importante en el desarrollo, al centrar la atención mundial en la idea de que los problemas medioambientales del planeta estaban íntimamente relacionados con las condiciones económicas y sociales. Demostró que para tener resultados sostenibles a largo plazo las necesidades sociales, medioambientales y económicas deben equilibrarse unas con otras. También demostró que, si las economías de las naciones son débiles y las personas pobres, el medio ambiente se resiste, pero si se abusa del medio ambiente y se consumen en exceso los recursos, las economías se debilitan y la gente se conforma.

El objetivo principal de la Cumbre fue introducir un programa para la acción internacional en temas de medio ambiente y de desarrollo que ayudarían a guiar la cooperación internacional y el desarrollo de nuevos programas en el siglo XXI, definiendo al desarrollo sostenible como un objetivo factible en todo el mundo. Se reconoció que, para conseguir integración y equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental, se necesita una nueva perspectiva de cómo producimos, cómo consumimos, cómo vivimos, cómo trabajamos, cómo nos relacionamos y cómo tomamos decisiones. Desarrollando un concepto revolucionario que desencadenó debate entre gobiernos y ciudadanos sobre cómo conseguir la sostenibilidad.

Se creó la Agenda 21, un programa de acciones que exigía nuevas formas de invertir en nuestro futuro para poder alcanzar el desarrollo sostenible en el siglo XXI, que surge a partir del Programa Global para el Desarrollo Sostenible, y su objetivo principal era crear un mundo seguro y justo en el que toda la existencia fuese digna y plena. En la Agenda 21 se debatieron temas de extrema importancia como lo son: la cooperación internacional para acelerar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo y políticas internas, la lucha contra la pobreza, la evolución de las modalidades de consumo, la dinámica demográfica y sostenibilidad, la protección y fomento de la salud humana, el fomento del desarrollo sostenible de los recursos humanos y, como parte fundamental, la integración del medio ambiente y el desarrollo en la adopción de decisiones.

Con el objetivo de establecer una alianza mundial y alcanzar acuerdos internacionales mediante la creación de nuevos niveles de cooperación entre los Estados, los sectores clave de la sociedad y las personas, respetando los intereses de todos y protegiendo la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial, se proclamaron 27 principios en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que a título personal destacan el principio 3, 4 y 8, que dicen:

Principio 3: El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras.

Principio 4: A fin de alcanzar el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente deberá constituir parte integrante del proceso de desarrollo y no podrá considerarse en forma aislada.

Principio 8: Para alcanzar el desarrollo sostenible y una mejor calidad de vida para todas las personas, los Estados deberían reducir y eliminar las modalidades de producción y consumo insostenibles y fomentar políticas demográficas apropiadas. (CNUMAD, 1992).<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> Naciones Unidas. (1992). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Los estados y los ciudadanos debíamos haber cooperado solidariamente en la aplicación de los principios consagrados en la Declaración de Río hace 28 años para tener un desarrollo sostenible.

En la Cumbre de Río se adoptaron la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático CMNUCC, la Convención de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica y la Convención para Combatir la Desertificación. Los tres convenios están intrínsecamente vinculados y se creó el Grupo de enlace conjunto para garantizar la cooperación y con el objetivo final de desarrollar sinergias en temas de interés mutuo. En este trabajo solo se profundizará sobre la CMNUCC, teniendo mayor importancia en el desarrollo sostenible.

#### 1.3.7. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

La CMNUCC entró en vigor el 21 de marzo de 1994 y en la actualidad los 197 países reconocidos por Naciones Unidas se denominan parte de la Convención, cuyo objetivo final es: Prevenir la interferencia humana peligrosa con el sistema climático, dando así los primeros pasos hacia un futuro más seguro. Reconoció que los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común de toda la humanidad, porque las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero GEI en la atmósfera y ese aumento intensifica el efecto invernadero natural, lo cual dará como resultado en promedio, un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la Tierra, pudiendo afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad. Se asumió que tanto históricamente como en la actualidad, la mayor parte de los GEI del mundo, han tenido su origen en los países desarrollados, que las emisiones per cápita de los países en desarrollo eran relativamente reducidas y que la producción total de emisiones originada en esos países aumentará de manera considerable para permitirles satisfacer sus necesidades sociales y de desarrollo. El cambio climático y sus repercusiones requieren de la cooperación más amplia de todos los países y su participación en una respuesta internacional efectiva y apropiada de conformidad con sus responsabilidades comunes pero diferenciadas sus capacidades respectivas y sus condiciones económicas y sociales (Naciones Unidas, 1992).<sup>27</sup>

#### 1.3.8. Protocolo de Kyoto.

El protocolo de Kyoto se adoptó en Kyoto Japón el 11 de diciembre de 1997, y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Es un acuerdo internacional vinculado con la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, que compromete a sus partes a establecer objetivos de reducción de emisiones internacionalmente vinculantes. Reconociendo que los países desarrollados son los principales responsables de los altos niveles actuales de los gases de efecto invernadero en la atmósfera como resultado de más de 150 años de actividad industrial, el Protocolo impuso una carga más pesada de las naciones

---

<sup>27</sup> Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.

desarrolladas bajo el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas.<sup>28</sup> Este Protocolo obliga jurídicamente a los países desarrollados que son Parte para cumplir metas de reducción de emisiones de GEI.

El artículo tres del Protocolo de Kyoto dice que las Partes se asegurarán individual o conjuntamente de que sus emisiones de gases de efecto invernadero agregadas, expresadas en dióxido de carbono equivalente, sean reducidas a un nivel inferior a 5% a las emisiones antropogénicas equivalentes a 1990 en el periodo comprendido entre 2008 a 2012, y que cada una de las Partes tendría que demostrar para el año 2005 un avance concreto en el cumplimiento de sus compromisos contraídos en el Protocolo. No obstante, Estados Unidos, siendo en 1997 el principal emisor de GEI, no ratificó el protocolo, limitando gravemente los resultados, y Canadá se retiró en 2011.

Los gases de Efecto Invernadero incluidos en el protocolo de Kyoto son los siguientes:

- Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>
- Metano CH<sub>4</sub>
- Óxido Nitroso N<sub>2</sub>O
- Hidrofluorocarbonos PFC
- Hexafluoruro de Azufre SF<sub>6</sub>

El Protocolo de Kyoto de la CMNUCC tenía el fin de promover un desarrollo sostenible y cada una de las Partes debería cumplir los compromisos de limitación y reducción de las emisiones de acuerdo con las circunstancias nacionales de cada una de las Partes: fomentando la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional; protección y mejora de los sumideros y depósitos de GEI; promoción de modalidades agrícolas sostenibles; investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro de dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales; reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, incentivos fiscales, extensiones tributarias y arancelarias(NU, 1998).<sup>29</sup>

El primer periodo de compromiso del Protocolo comenzó en 2008 y terminó en 2012. En la décimo octava Conferencia de las Partes, COP18, celebrada en Doha, Qatar, en 2012, se establece un segundo periodo de compromiso empezó el 1 de enero de 2013 y terminaría en 2020; añade el Trifluoruro de Nitrógeno NF<sub>3</sub> a la lista de GEI, aunque este segundo periodo de compromiso afecta solamente al 14% de las emisiones mundiales debido a que solo los Estados Miembros de la Unión Europea, otros países europeos y Australia, se han comprometido con el nuevo a la enmienda de Doha. En la actualidad hay 197 Partes en la

---

<sup>28</sup> Carta de Naciones Unidas 1945 Artículo 1

<sup>29</sup> Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Convención y 192 en el Protocolo de Kioto, pero los antes mencionados son solo los que han ratificado y se encuentran comprometidos con la enmienda de Doha (NU, 2015).<sup>30</sup>

### 1.3.9. La Cumbre del Milenio de Naciones Unidas y Objetivos de Desarrollo del Milenio.

La Cumbre del Milenio de Naciones Unidas se celebró en Nueva York en septiembre del año 2000, donde 189 líderes internacionales se comprometieron con los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio, ODM, que debían alcanzarse en 2015:

1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre
2. Lograr la enseñanza primaria universal
3. Promover la igualdad de géneros y la autonomía de la mujer
4. Reducir la mortalidad infantil
5. Mejorar la salud materna
6. Combatir el VIH y otras enfermedades
7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente
8. Fomentar la alianza global para el desarrollo

Los ODM tenían como objetivo atender las necesidades humanas más apremiantes y los derechos fundamentales que todos los seres humanos deberían disfrutar; se crearon metas e indicadores para medir el avance y el cumplimiento de los ocho ODM y poder dar seguimiento a las mejoras en la calidad de vida de millones de personas en todo el mundo, generando el movimiento contra la pobreza más exitoso de la historia, porque los ODM ayudaron a que más de mil millones de personas salieran de la pobreza extrema, a combatir el hambre, a que más niñas asistieran a la escuela y a tener medidas que protegieran nuestro planeta (NU, 2000).<sup>31</sup>

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio generaron grandes e importantes colaboraciones, impulsando la opinión pública, y mostraron el importante valor de establecer los objetivos para la humanidad, reconfigurando la toma de decisiones tanto de países desarrollados como en países en desarrollo. Sin embargo, las desigualdades persisten y el progreso no ha sido igual, porque la pobreza continúa concentrada predominantemente en partes específicas del mundo, como lo es el África subsahariana y Asia del sur, siendo las regiones más pobres, albergando al 84.5% de los 1,300 millones de personas extremadamente pobres del planeta. La experiencia y los esfuerzos alcanzados por los Objetivos de Desarrollo del Milenio en 15 años demostraron que, si existe organización internacional, voluntad política y se ponen objetivos claros que alcanzar. se puede lograr un mayor progreso internacional.

---

<sup>30</sup> Naciones Unidas. (2015). Agenda de Acción de Addis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo.

<sup>31</sup> Naciones Unidas. (2000). Declaración del Milenio. New York.

### 1.3.10. Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible: Johannesburgo y Río+20.

Del 26 de agosto al 4 de septiembre de 2002 se realizó la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, Sudáfrica, se reafirmó el compromiso en pro del desarrollo sostenible, comprometiéndose a crear una sociedad mundial humanitaria, equitativa y generosa, consiente de la necesidad de respetar la dignidad de todos los seres humanos. Se asumió la responsabilidad colectiva de promover y fortalecer, desde lo local y nacional hasta lo mundial, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección ambiental, los tres pilares interdependientes y sinérgicos del desarrollo sostenible.

Se reconoció que la erradicación de la pobreza, la modificación del patrón insostenible de producción-consumo, y la protección y ordenación de la base de recursos naturales para el desarrollo social y económico, son tres objetivos primordiales y requisitos fundamentales de un desarrollo sostenible. La enorme brecha que divide a la sociedad humana entre ricos y pobres, así como el abismo cada vez mayor que separa al mundo desarrollado del mundo en desarrollo, representan una grave amenaza a la prosperidad, seguridad y estabilidad mundial.

En la cumbre se hizo el compromiso de fortalecer y mejorar la gobernanza en todos los medios para lograr la aplicación efectiva de: La agenda 21 de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Brasil en 1992, los objetivos de Desarrollo del Milenio publicados en New York en el 2000 y el plan de aplicación de las decisiones de la presente cumbre.

El presidente de la Asamblea General de las Naciones Unidas, Han Seung-soo dijo: “Hace diez años, en la Cumbre de Río, la comunidad internacional acogió con beneplácito y sin reservas la aprobación de los principios de Río y el Programa 21 que brindaron una guía para el logro del desarrollo sostenible. Pese a los progresos realizados durante diez años, debemos admitir que aún distamos mucho de haber alcanzado lo que acordamos lograr” (NU, 2002).<sup>32</sup>

Sin embargo, en algunos casos la situación había empeorado en los últimos diez años porque el número de personas que vivían en la pobreza extrema habían aumentado y la degradación del medio ambiente seguía impulsando graves y alarmantes amenazas para la seguridad de nuestro planeta.

El 22 de junio de 2012 se realizó la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro, Brasil, mejor conocida como Río+20, donde se renovó el compromiso de los jefes de estado y de gobierno en favor del desarrollo sostenible y de la promoción de un futuro sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental para nuestro planeta y para las generaciones presentes y futuras, focalizando en un documento político titulado “El Futuro que Queremos”. Desde que se creó la Organización

---

<sup>32</sup> Naciones Unidas. (2002). Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible.

de las Naciones Unidas, la erradicación de la pobreza ha sido uno de los mayores problemas que el mundo ha afrontado y en 2012 se categorizó como el mayor problema del mundo, agregándole una condición indispensable de desarrollo sostenible, donde todos los miembros estarían empeñados en liberar con urgencia a la humanidad de la pobreza y el hambre.

Se reconoció que para lograr el desarrollo sostenible se tiene que promover un crecimiento sostenido, inclusivo y equitativo, creando mayores oportunidades para todos, reduciendo las desigualdades y mejorando los niveles de vida básicos, fomentando el desarrollo social y promoviendo la ordenación integrada y sostenible de los recursos naturales y los ecosistemas, que contribuyen al desarrollo económico, social y humano y facilita al mismo tiempo la conservación, la regeneración, el restablecimiento y la resiliencia de los ecosistemas frente a los problemas actuales crecientes.

Cada país dispone de diferentes enfoques, visiones, modelos e instrumentos en función de sus circunstancias y prioridades nacionales para lograr el desarrollo sostenible en sus tres dimensiones, por eso se considera que una economía verde en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza es uno de los instrumentos importantes disponibles para lograr el desarrollo sostenible, y que podría ofrecer alternativas en la formulación de políticas, pero no debe consistir en un conjunto de normas rígidas. Comprometiéndose así a hacer todo lo posible para acelerar el logro de los objetivos de desarrollo convenidos internacionalmente, incluidos los Objetivos de Desarrollo del Milenio para 2015.

Respecto al papel fundamental de la energía en el proceso de desarrollo, se reconoció que el acceso a servicios energéticos modernos y sostenibles contribuye a erradicar la pobreza, salvar vidas, mejorar la salud y ayuda a satisfacer las necesidades humanas básicas, servicios esenciales para la inclusión social ya que la energía es un insumo clave para la producción.

Se comprometieron las partes a facilitar la prestación de apoyo para que 1,400 millones de personas obtengan acceso a servicios energéticos básicos, ya que es necesario tratar de resolver el problema del acceso a servicios energéticos modernos y sostenibles para todos, en especial para los países pobres, debido a que no pueden financiarlos, necesitando medidas nuevas que adoptar para mejorar la situación, movilizandolos recursos financieros de los países desarrollados a los países en desarrollo de modo que estos puedan proporcionar servicios energéticos que sean fiables, asequibles, económicamente viables, social y ambientalmente aceptables. También se comprometieron a promover servicios energéticos modernos y sostenibles, utilizando una matriz energética apropiada para satisfacer las necesidades de desarrollo, incluso mediante un mayor uso de fuentes de energía renovables y otras tecnologías de emisiones bajas, el uso más eficiente de energía, la mayor utilización de tecnologías energéticas avanzadas, incluidas tecnologías menos contaminantes de aprovechamiento de combustibles fósiles y el uso sostenible de los recursos energéticos tradicionales.

En el marco para la acción y el seguimiento de la cumbre de Río+20, se abordó la economía verde en favor del desarrollo sostenible en los siguientes temas: erradicación de la pobreza, seguridad alimentaria, nutrición y agricultura sostenible, agua y saneamiento, energía, turismo sostenible, transporte sostenible, ciudades y asentamientos humanos sostenibles, salud y población, promoción de empleo pleno y productivo, trabajo decente para todos y protección social, océanos y mares, pequeños estados insulares en desarrollo, países menos adelantados, países sin litoral, desarrollo de África, reducción de desastres, cambio climático, bosque, biodiversidad, desertificación, degradación de la tierra y sequías, montañas, minería, productos químicos y desechos, educación, igualdad de géneros y empoderamiento de las mujeres, consumo y producción sostenible. Todos con el objetivo de crecer, incluir, proteger y desarrollar a todas las naciones (NU, 2012).<sup>33</sup>

Como conclusión se estableció un proceso intergubernamental inclusivo y transparente para tratar los objetivos de desarrollo sostenible para 2015, que estuviera abierto a todas las partes interesadas con el fin de formular objetivos mundiales de desarrollo sostenible que debía acordar la Asamblea General.

#### 1.3.11. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Los Jefes de Estado y de Gobierno y Altos Representantes, reunidos en la Sede de Naciones Unidas en Nueva York del 25 al 27 de septiembre de 2015, acordaron los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible de alcance mundial.

La agenda 2030 es un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad, implementado por todos los países mediante una alianza de colaboración con el objetivo de liberar a la humanidad de la pobreza y las privaciones, sanar y proteger nuestro planeta.

Al emprender juntos este viaje se pretende que ningún país se quede atrás. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las 169 metas, demuestran la magnitud de esta ambiciosa agenda universal. Con ellos se pretende retomar los Objetivos de Desarrollo del Milenio y conseguir lo que estos no lograron. Los ODS y las metas son de carácter integral y conjugan las tres dimensiones del Desarrollo Sostenible: económica, social y ambiental.

Con los objetivos y metas se estimulará hasta 2030 la acción en las siguientes esferas de importancia crítica para la humanidad y el planeta: las personas, al poner fin a la pobreza y al hambre en todas sus formas; el planeta, al protegerlo contra la degradación mediante el consumo y la producción sostenibles e implementar con urgencia medidas para hacer frente al cambio climático de manera que se puedan satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras; y la prosperidad, al velar por que todos los seres humanos puedan disfrutar de una vida próspera y plena para que el progreso económico, social y tecnológico se produzca en armonía con la naturaleza; la paz, al propiciar sociedades pacíficas, juntas e inclusivas que estén libres del temor y la violencia ya que no puede haber

---

<sup>33</sup> NU (Naciones Unidas). 2012. El futuro que queremos.

desarrollo sostenible sin paz; y las alianzas, al movilizar los medios necesarios para implementar la Agenda mediante la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible revitalizada.

La Agenda 2030 promueve el desarrollo integral y moviliza los esfuerzos de la humanidad para lograr los ODS:

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades
4. Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos
5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas
6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos
8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación
10. Reducir la desigualdad en los países y entre ellos
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos
14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible
15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y construir a todos los niveles instituciones eficaces e inclusivas que rindan cuentas
17. Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible (NU, 2015a).<sup>34</sup>

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es el principal foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial al cambio climático.

---

<sup>34</sup> NU (Naciones Unidas). (2015a). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

La Agenda y los ODS, se cumplirán en el marco de la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible, con el apoyo de las políticas y medidas concretas indicadas en la Agenda de Acción de Addis Abeba, que es parte integral de la Agenda 2030. La Agenda de Acción Addis Abeba de la Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo es un marco mundial para financiar el desarrollo después de 2015, donde se declaró el firme compromiso político de hacer frente al problema de la financiación y de la creación de un entorno propicio a todos los niveles del desarrollo sostenible. En ella se abordan los siguientes ámbitos: recursos nacionales públicos, actividad financiera y comercial privada nacional e internacional; cooperación internacional para el desarrollo; el comercio internacional como motor del desarrollo; la deuda y la sostenibilidad de la deuda; tratamiento de las cuestiones sistémicas; ciencia, tecnología, innovación y creación de capacidad; y datos, vigilancia y seguimiento.

En la supervisión del cumplimiento de los ODS a nivel mundial, el Foro Político de Alto Nivel desempeñará un papel central en la red de los procesos mundiales de seguimiento y examen en conjunto con la Asamblea General, el consejo Económico y Social y otros órganos y foros competentes. La labor de seguimiento y examen del foro político de alto nivel se basará en un informe anual sobre los progresos de los ODS que preparará el Secretario General en cooperación con el sistema de Naciones Unidas a partir del marco de indicadores mundiales, datos de los sistemas nacionales de estadística y la información reunida en el plano regional (NU, 2015c).<sup>35</sup>

#### 1.3.12. Acuerdo de París COP21.

En virtud de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en París en diciembre de 2015, en la Conferencia de las Partes número 21, COP21, se aprobó el Acuerdo de París, acogiendo la aprobación de la resolución de la Asamblea General de Naciones Unidas, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en particular el objetivo 13 Acción por el Clima.

Conscientes de que el cambio climático representa una amenaza apremiante y con efectos potencialmente irreversibles para las sociedades humanas y el planeta, se exige la cooperación más amplia posible de todos los países y participación en una respuesta internacional efectiva y apropiada, con miras a acelerar la reducción de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. El acuerdo de París tiene como propósito reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza, para esto se tienen tres metas que son:

1. Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar ese

---

<sup>35</sup> NU (Naciones Unidas). (2015c). Agenda de Acción de Addis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo.

aumento de la temperatura a 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos de los efectos del cambio climático;

2. Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de modo que no comprometa la producción de alimentos;
3. Elevar las corrientes financieras a nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

Para cumplir el objetivo a largo plazo referente a la temperatura de 2°C las Partes se proponen lograr que las emisiones de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible, teniendo presente que los países en desarrollo tardarán más en lograrlo, y a partir de ese momento reducir rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero para alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros a la mitad del siglo.

Las Partes que son países desarrollados deberán proporcionar recursos financieros a la Partes que son países en desarrollo para prestarles asistencia tanto de la mitigación como en la adaptación y seguir cumpliendo así con sus obligaciones de seguir encabezando los esfuerzos. La COP en calidad de reunión de las Partes en el acuerdo de París realizará periódicamente un balance de aplicación para determinar el avance colectivo en el cumplimiento de su propósito y sus objetivos a largo plazo del balance mundial, realizando el primer balance en 2013 y a partir de entonces se realizará cada cinco años.

El Acuerdo de París entraría en vigor a los treinta días contando desde la fecha en que no menos de 55 Partes en la Convención, cuyas emisiones estimadas representen globalmente un 55% del total de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, hayan depositado sus instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión. Finalmente, el presente Acuerdo entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Sin embargo, el 4 de noviembre de 2019 el Gobierno de Estados Unidos de América notificó al Secretario General su decisión de retirarse del Acuerdo, que entrará en vigor el 4 de noviembre de 2020 (NU, 2015b).<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> NU (Naciones Unidas). (2015b). Convención Marco sobre el Cambio Climático: Aprobación del Acuerdo de París.

#### 1.4. Ingeniería para la Energía en el Desarrollo Sostenible: Retos, Desafíos y Oportunidades

La ingeniería desempeña un papel crucial en la actualidad y en nuestra vida moderna para generar un desarrollo sostenible y un crecimiento económico, porque resulta imposible imaginar una economía moderna sin la ingeniería. Todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas se pueden impulsar a través de la ingeniería y el desarrollo de tecnologías necesarias para el bienestar de la sociedad. Los ingenieros somos más necesarios que nunca para abordar las necesidades y problemas en materia de agua limpia y saneamiento, resiliencia ante desastres naturales y en ciudades sobrepobladas, el cultivo de mayores cantidades de alimentos y protección de los océanos y recursos terrestres, generación de energía y sus derivados, teniendo, así como consecuencia desarrollo y crecimiento económico (UNESCO, 2019).<sup>37</sup>

La importancia de la ingeniería para el desarrollo sostenible radica en que la ingeniería ocupa un lugar central en nuestro mundo actual, debido a que dará forma al mundo del futuro, como lo ha venido haciendo desde hace siglos, porque la ingeniería se basa en los principios de la ciencia para desarrollar aplicaciones prácticas que abarcan desde la vivienda, alimentación, transporte, la energía, el suministro de agua potable y saneamiento, la informática y las tecnologías de la información, tecnologías de infraestructura de transporte y de construcción y desarrollo de ciudades.

En 2020 estamos impulsando la Cuarta Revolución Industrial y la ingeniería es fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías en inteligencia artificial, robótica, y computación cuántica. Los ingenieros somos esenciales para dar soluciones a los problemas más grandes en la actualidad como lo es en el ámbito de la resiliencia ante el cambio climático, para diseñar y desarrollar infraestructura que resistan los impactos crecientes de los fenómenos meteorológicos como son las inundaciones, sequías e incendios. Hacer hincapié en el desarrollo de la ingeniería en todos los países del mundo contribuirá sin duda al desarrollo de la humanidad.

La comprensión de la medida en que la ingeniería y la tecnología son esenciales para la vida moderna debido a que afectan las vidas cotidianas de todos los habitantes en el planeta, es esencial para el desarrollo sostenible, crear conciencia del papel que juegan los ingenieros en la lucha con el cambio climático y todas las repercusiones que se tienen como la generación de energía más limpia y ahorro energético y así generar resiliencia en las ciudades. Ante eso también es fundamental crear conciencia de las oportunidades que existen en las áreas ingenieriles para alentar a más personas a considerar una ingeniería como parte de sus vidas y que las universidades tengan la capacidad de colaboración para responder a la necesidad creciente de ingenieros y desarrollar la infraestructura necesaria

---

<sup>37</sup> UNESCO. (2019). Día Mundial de la Ingeniería para el Desarrollo Sostenible.

para la enseñanza, el desarrollo profesional, la capacitación y la aplicación; con el gobierno, la industria, el sector privado y la sociedad, en cada país.

Un factor clave es la innovación en el campo de la ingeniería y la cooperación internacional en materia de investigación y desarrollo para crear e innovar nuevas tecnologías avanzadas en áreas más amplias e interdisciplinarias que nos permitan tomar medidas contra el cambio climático, la transición energética y actuar a favor del desarrollo sostenible a través de la interacción y la colaboración del desarrollo eficiente de las tecnologías de la cuarta revolución industrial. Estas incluyen la inteligencia artificial, big data, análisis de datos, tecnologías de la información y la comunicación, impresión 3D, el internet de las cosas, computación cuántica, la nanotecnología, la robótica colaborativa, con las tecnologías ambientales y la ciencia de materiales, ahorro y eficiencia energética, generación de energía limpia, que son tecnologías que se pueden desarrollar de manera independiente pero la interacción e interconectividad entre las mismas nos dará soluciones a los problemas que enfrentaremos, debido a que estamos evolucionando a un ritmo exponencial que da como resultado a un mundo polifacético y profundamente interconectado y esta interconexión de la tecnología genera a su vez, nueva tecnología más nueva y más poderosa capaz de generar cambios en la humanidad ya que se están llevando cambios de paradigmas sin precedentes tanto en la economía, los negocios, la sociedad y la política. Porque no solo se está cambiando qué y cómo hacer que nuestra sociedad se desarrolle, sino quiénes somos y qué queremos para nosotros en el futuro, ya que se trata de la transformación del complejo sistema entre los países, empresas, industria y en general toda la sociedad en conjunto, por lo que se necesita la cooperación internacional, el desarrollo de tecnología y la concientización de los problemas a los que nos enfrentamos para poder tener un desarrollo sostenible.

Estoy convencido de que los ingenieros jugaremos un papel importante en el desarrollo sostenible, porque mundialmente existen preocupaciones fundamentales acerca de los factores que podrían limitar el potencial del crecimiento en esta cuarta revolución industrial para que pueda ser eficaz y coherente con los objetivos de la humanidad. Desarrollar los niveles necesarios de liderazgo para esta etapa de la humanidad y comprender los cambios que estamos viviendo para rediseñar nuestros sistemas económicos, sociales, políticos y ambientales para responder a escala nacional como internacional.

En la actualidad es imposible imaginar una vida sin energía, ahora somos energéticamente dependientes, desde que nos levantamos tenemos contacto con la energía; nuestros alimentos que fueron producidos y transportados desde algún otro lado hasta nuestra casa, algunas veces estos productos son traídos desde otra parte de la Tierra y el gasto energético en la transportación no lo vemos porque ya damos por hecho que debe haber alimentos en nuestra casa, así como la energía empleada en su producción porque ahora ya no es un sistema agrícola sino un sistema industrial que necesita de maquinaria para poder producir alimentos en grandes cantidades que permitan satisfacer las necesidades mundiales. Se

necesita energía para cocinarlos y se necesitó energía para construir los utensilios para poder comerlos, ya sean plásticos, cerámicos o metales.

Utilizamos energía para poder cargar la batería del celular o la laptop, para poder ver la televisión, lavar y planchar nuestra ropa o simplemente para ver en la oscuridad. Necesitamos energía eléctrica que viene desde alguna central termoeléctrica, hidroeléctrica o nucleoelectrica, que por lo general se encuentra lejos de donde vivimos, donde el complejo sistema de generación y transmisión reduce considerablemente su eficiencia, sistema que también necesito energía para su construcción. Tener agua en nuestras casas para nuestras necesidades básicas necesitó un complejo sistema de bombeo que ocupó bastante energía para llegar a cualquier ciudad, trabajo, industria o universidad. Sin embargo, nuevamente damos por hecho que este recurso debe estar con nosotros.

La industria es el conjunto de operaciones materiales ejecutadas para la obtención, transformación o transporte de uno o varios productos naturales y nos permite tener la calidad de vida que ahora tenemos. Gracias a la industria, la humanidad ha podido construir ciudades y se ha podido desarrollar como nunca, porque ahora contamos con el desarrollo tecnológico que se ha generado a partir de la primera revolución industrial; ahora necesitamos de la industria para poder vivir en el mundo que hemos construido y seguir con nuestro desarrollo como sociedad. Sin embargo, la industria es el sector de mayor consumo energético a nivel mundial, consumiendo el 37% de la energía total.

Existen varios tipos de transporte que son el transporte carretero, ferroviario, marítimo y aéreo. Todos los días debemos transportarnos ya sea en transporte público o privado, la distancia y el tiempo varían para todos en el día a día, también podemos utilizar transporte aéreo si debemos viajara otro país o incluso en el mismo, la industria debe transportar sus productos y generalmente lo hace por medio de transporte marítimo si es de un continente a otro, así como ferroviario y carretero debido a que el comercio internacional es parte de nuestras vidas. Como consecuencia el sector del transporte es el segundo devorador energético consumiendo el 29% de la energía en el mundo.

La energía es fundamental en nuestras vidas, hoy podríamos hacer muy poco sin acceso a energía, incluso quedarnos sin alimentos, casi todos los grandes desafíos y oportunidades a los que hace frente el mundo actualmente se basan en el desarrollo energético, debemos ser conscientes de la importancia que tiene la energía en nuestras vidas y las repercusiones que tendrá para las futuras generaciones.

La energía es fundamental para prácticamente todos los grandes desafíos y oportunidades a los que la humanidad hace frente actualmente, desde la producción de alimentos, desarrollo de vacunas, aumentar el crecimiento económico, el cambio climático, y la generación de empleos, el acceso universal a la energía es esencial para el desarrollo internacional, así como el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

El objetivo 7 de la agenda 2030 de Naciones Unidas es “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos” y trabajar para alcanzar las metas de energía es especialmente importante, ya que afecta directamente en la consecución los ODS y porque es de vital importancia apoyar nuevas iniciativas tanto económicas y laborales que aseguren el acceso universal a los servicios de energía modernos, mejoren el rendimiento energético y se aumente el uso de fuentes renovables para crear comunidades más sostenibles e inclusivas y para la resiliencia ante problemas ambientales provocados por el cambio climático. Aproximadamente el 14% de la población mundial, que representa cerca de 1,000 millones de personas, aún no tiene acceso a servicios modernos de electricidad y aproximadamente el 40% que son cerca de 3,000 millones de personas dependen de la madera, el carbón, carbón vegetal o desechos de origen animal para cocinar y calentar sus alimentos, siendo la mayoría países de África Subsahariana y Asia Meridional. Las metas del séptimo ODS que se plantearon cumplir para 2030 son:

1. Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
2. Aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
3. Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
  - a. Aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y a la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en la infraestructura energética y tecnologías limpias
  - b. Ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos los países en desarrollo, en particular a los países menos desarrollados, los pequeños estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.<sup>38</sup>

Por su parte, el décimo primer ODS es “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros resilientes y sostenibles” en 2019 cerca de 4,200 millones de personas viven en ciudades, y se prevé que para 2030 aumente a unos 5,000 millones, las ciudades del mundo ocupan solo el 3% de la tierra, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones GEI. La industria de la energía es el mayor contribuyente al cambio climático y en las próximas décadas el sector energético se verá afectado por el calentamiento global. Como consecuencia del desarrollo humano, es probable que la temperatura media global aumente entre 2.6 y 4.8 °C para final de siglo respecto a los niveles preindustriales.

La ausencia de la aplicación efectiva de políticas de mitigación, el crecimiento económico y el aumento demográfico en el mundo, seguirán impulsando cada año más la demanda de

---

<sup>38</sup> Naciones Unidas. 2019. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

energía y como consecuencia las emisiones de gases de efecto invernadero también aumentarán, incluso el mismo cambio climático puede ocasionar el aumento en el consumo de energía. En 2010 el 34% de las emisiones directas de GEI provinieron de la producción de energía, siendo que el sector energético es el mayor contribuyente a las emisiones globales de gases de efecto invernadero, y de acuerdo con el IPCC el sector energético comprende a todos los procesos de extracción, conversión, transmisión y distribución de energía con excepción de aquellos sectores que utilicen la energía para uso final. Sin embargo, las emisiones de GEI están directamente relacionadas con el consumo energético mundial final, incluyendo no solo el sector energético sino también el sector del transporte, los edificios y la industria ya que sin energía no sirven ni se pueden desarrollar, sumando así más del 75% del total de emisiones de GEI, lo que equivale a 25.125 GteCO<sub>2</sub>, de las 33.5 GteCO<sub>2</sub> emisiones anuales en 2010 (IPCC, 2014).<sup>39</sup> Las proyecciones indican que si continuamos con el mismo incremento de emisiones sin políticas para limitar aumento de GEI, las emisiones asociadas con el uso de combustibles fósiles, incluyendo los sectores de energía, transporte, edificios e industria, contribuirán con 55 a 70 GteCO<sub>2</sub> para el año 2050.

El décimo tercer ODS es “adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” debido a que el cambio climático afecta a todos los países, produciendo un impacto negativo en la economía, la vida de las personas y las comunidades. La Convención Marco de Naciones Unidas Sobre Cambio Climático es el principal foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial al cambio climático, y como consecuencia la responsable del objetivo de desarrollo sostenible número trece que es “Acción por el Clima”.

Para fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático de acuerdo con el objetivo acordado internacionalmente en el Acuerdo de París COP21 ratificado, y que entró en vigor el 4 de noviembre de 2016 para reducir las emisiones a niveles compatibles con el medio ambiente y mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2°C respecto a la era preindustrial, el porcentaje de la generación de electricidad baja en carbono tendrá que triplicarse para el año 2050 y para el año 2100 el uso de combustibles fósiles sin captura de carbono prácticamente tendría que desaparecer para hacer realidad el Acuerdo de París.

Cada año la demanda energética aumenta considerablemente a nivel mundial, provocando que las emisiones de GEI también aumenten. Esta tendencia va a continuar en aumento impulsada por el crecimiento económico fomentado por todos en el mundo y el considerable aumento demográfico. Las emisiones de GEI dependen de tres grandes variables, la población, el crecimiento económico y la intensidad de CO<sub>2</sub> por unidad de PIB.

---

<sup>39</sup> IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. In Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

## 2. Balance Energético, Reservas y Perspectivas: Crisis Energética Mundial.

La energía es un tema sumamente amplio, con cientos de componentes entrelazados en un sistema complejo y siempre variable, haciendo difícil obtener respuestas rápidas y acertadas. Actualmente vivimos en un mundo completamente dominado por la energía debido a que es el pilar de la riqueza, de nuestro confort y de nuestra seguridad, en gran parte incuestionada en la inexorabilidad del progreso, que está implícito en todos los actos y artefactos de la vida moderna, porque producimos y consumimos energía para calentarnos y alimentarnos, para desplazarnos, para educarnos y entretenernos, para ampliar nuestros conocimientos, cambiar nuestro propio destino, para construir y reconstruir nuestro mundo. Absolutamente todo lo que compramos representa una cantidad de energía producida y posteriormente consumida.

Debido a esto es importante analizar el balance energético a nivel internacional, conocer las reservas energéticas de los hidrocarburos y así conocer las distintas perspectivas para el futuro de la energía, porque el progreso de la humanidad depende de la energía y sin recursos energéticos es poco probable que continuemos con un crecimiento económico mundial.

Por otro lado, existe la energía renovable y en este capítulo se analiza su verdadero potencial, su aprovechamiento y sus limitaciones. También se analizan los casos de países con una matriz energética con altos porcentajes renovables y por último se conoce la dependencia de las fuentes de energía renovable de las no renovables, esto es, no se puede desarrollar energía renovable sin el consumo de energía fósil para así poder crear un modelo energético realista para un desarrollo sostenible.

### 2.1 Balance Energético Mundial Actual.

La economía energética actual funciona como una máquina de movimiento perpetuo. Miles de millones de personas disfrutan de un nivel de vida nunca antes visto, las naciones han generado grandes riquezas, debido a que en todo el mundo, la industria energética ha tenido un exorbitante crecimiento, construyendo una enorme red de pozos petrolíferos, oleoductos, minas de carbón, centrales eléctricas, líneas de transmisión, coches, camiones, trenes, barcos y aviones: en conjunto se ha creado un sistema gigantesco y maravillosamente intrincado que convierte al petróleo, al gas natural y al carbón mediante procesos termodinámicos en energía útil que estimula a nuestra civilización moderna.

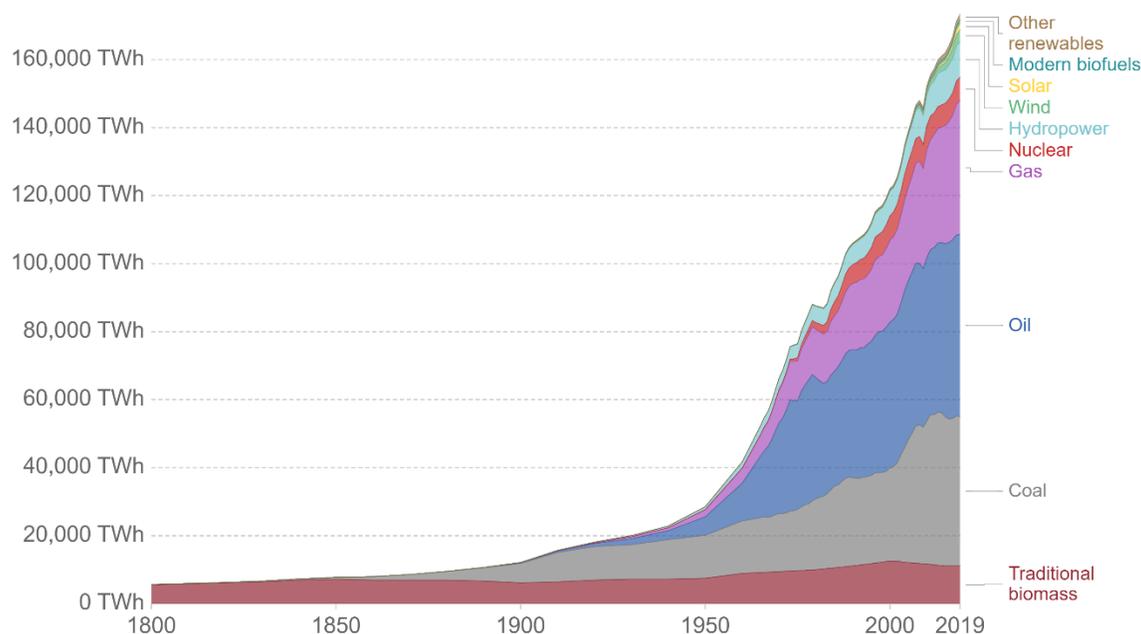
Durante más de doscientos años, las cualidades extraordinarias de los recursos energéticos han funcionado de modo casi perfecto, transformando recursos en poder económico y político, alimentando la creencia de que el camino más seguro hacia la prosperidad y la estabilidad es el crecimiento económico, generado a partir de extraer más carbón, petróleo y gas natural para convertirlo en energía útil para todos en el mundo, siendo la energía un pilar clave para el bienestar humano. Sin embargo, hemos actuado pensando que estos

recursos son ilimitados, pero vivimos en un mundo de recursos finitos donde los combustibles fósiles se formaron como consecuencia de la acumulación de restos vegetales y orgánicos en el fondo del mar o de la tierra, en condiciones de falta de oxígeno, altas temperaturas, altas presiones y el paso de millones de años para llegar al estado en que pueden ser utilizados.

Para entender el sistema energético mundial se necesita conocer la evolución de la producción de energía primaria a través de los años. En el año de 1800 prácticamente toda la energía del mundo se producía a partir de madera o biomasa tradicional, siendo apenas una población mundial de 1,000 millones de habitantes donde el carbón se comenzaba a utilizar, específicamente en Reino Unido y Estados Unidos, pero fue un siglo después cuando el consumo energético se duplicó siendo el carbón el que aportara el 50% del total de la energía producida. El petróleo, el gas natural y la energía hidroeléctrica estaban comenzando a desarrollarse, pero su proporción era mínima.<sup>40</sup>

### Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

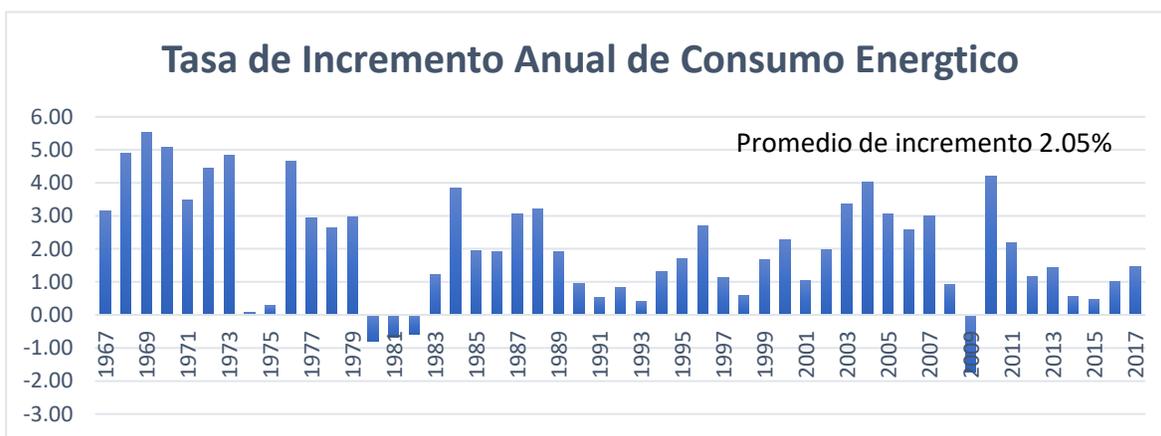
Gráfica 11. Consumo Global de Energía Primaria de 1800 a 2019.

Con el inicio de la Primera Guerra Mundial se hizo evidente qué tan importante era el petróleo para la defensa de las naciones, es decir qué tan poderosas podían ser las naciones con el control del petróleo. Tras el fin de la Segunda Guerra Mundial, los líderes de la

<sup>40</sup> Hannah Ritchie y Max Roser (2019) - "Producción de energía y fuentes de energía cambiantes". Publicado en línea en OurWorldInData.org. Recuperado de: '<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>' [Recurso en línea]

posguerra eran muy conscientes de que el petróleo era una mercancía muy valiosa, dividiéndose el petróleo de Medio Oriente entre Estados Unidos y el Reino Unido. Para 1950 el balance energético se había multiplicado por cinco respecto a 1800; el carbón, el petróleo y el gas natural ocupaban el 45%, 20% y 7.5% del total respectivamente. Para 1960 el mundo comenzó a generar energía a partir de centrales nucleares; sin embargo, a pesar de su desarrollo en la década de los 70, 80 y 90, la energía nuclear nunca ha representado más del 5% del consumo primario de energía.

Con la tasa de incremento de 0.89% del consumo energético promedio de los últimos 4 años, que ha sido considerablemente menor a la de los años anteriores, se calcula que el consumo en 2020 será de 164,291 TWh que equivale a multiplicar por 29 el consumo de energético de hace 220 años. Aquí cabe destacar que la población también se ha incrementado en 7.7 veces, lo que da como consecuencia el aumento en la demanda de recursos naturales renovables y no renovables.

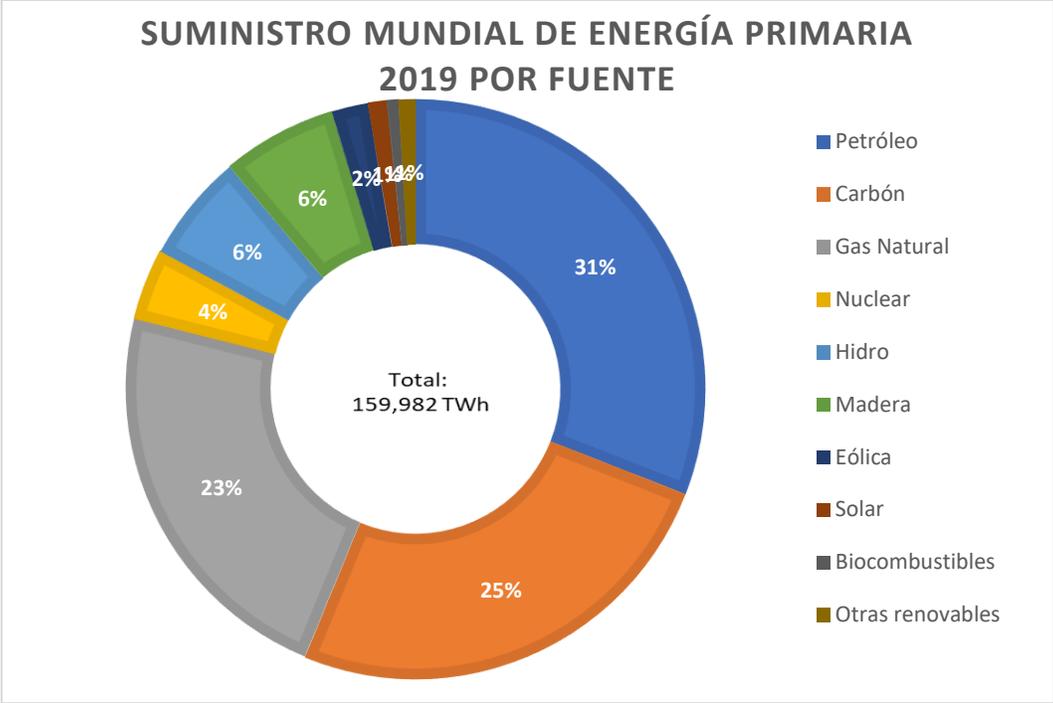


Gráfica 12. Tasa de Incremento Anual de Consumo energético. Elaboración propia:  
Fuente: Vaclav Smil y BP Statistical Review of World Energy.

El consumo energético mundial se ha incrementado cada año desde 1800, con una tasa promedio de incremento en la demanda de 2.05% de 1967 a 2017. Si continuamos con esta tasa de crecimiento la demanda de energía para el 2050 significará más del doble de energía, es decir, 334,248 TWh para satisfacer nuestras necesidades mundiales, lo que ocasionaría graves problemas al medio ambiente debido a la emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, a mi parecer ese no será el mayor problema al que nos enfrentaremos, sino de dónde obtendremos todo ese petróleo, gas natural o carbón que necesitaremos.

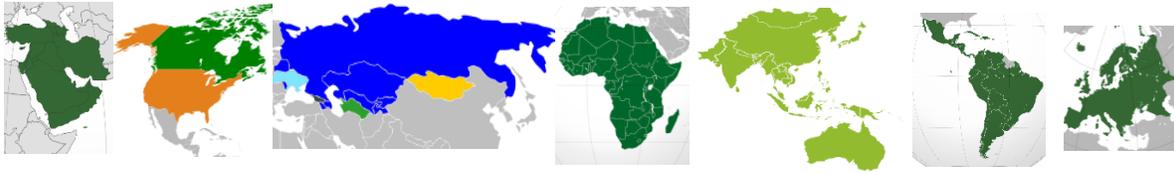
El decremento en el consumo energético desde 1965 se ha dado en tres ocasiones, la primera en 1973, cuando la Organización de Países de Exportación de Petróleo ocasionó la primera crisis del petróleo, disminuyendo la demanda del crudo y dando como consecuencia el incremento de los precios, la segunda en 1979 cuando Irán disminuyó la producción de crudo y la última en 2008 debido a la crisis financiera global. Es evidente el

poder que tiene el petróleo en el mundo ya que el decremento energético solo se ha dado como resultado de crisis. Ante los eventos que estamos presenciando, a partir de la crisis sanitaria por el COVID-19 en 2020, es evidente pronosticar que el consumo de la demanda energética disminuya drásticamente este año, asimismo ocasionando este decremento por los problemas petroleros de la OPEC+ y los graves problemas que conlleva la disminución drástica de la oferta-demanda en los precios del petróleo. Sin embargo, los gobiernos están ansiosos por reactivar sus economías, dando como consecuencia que en los próximos años continúe a paso firme el aumento en el consumo energético.



Gráfica 13. Suministro Mundial de Energía Primaria por Fuente 2019. Elaboración propia. Fuente: Key World Energy Statistics 2021.

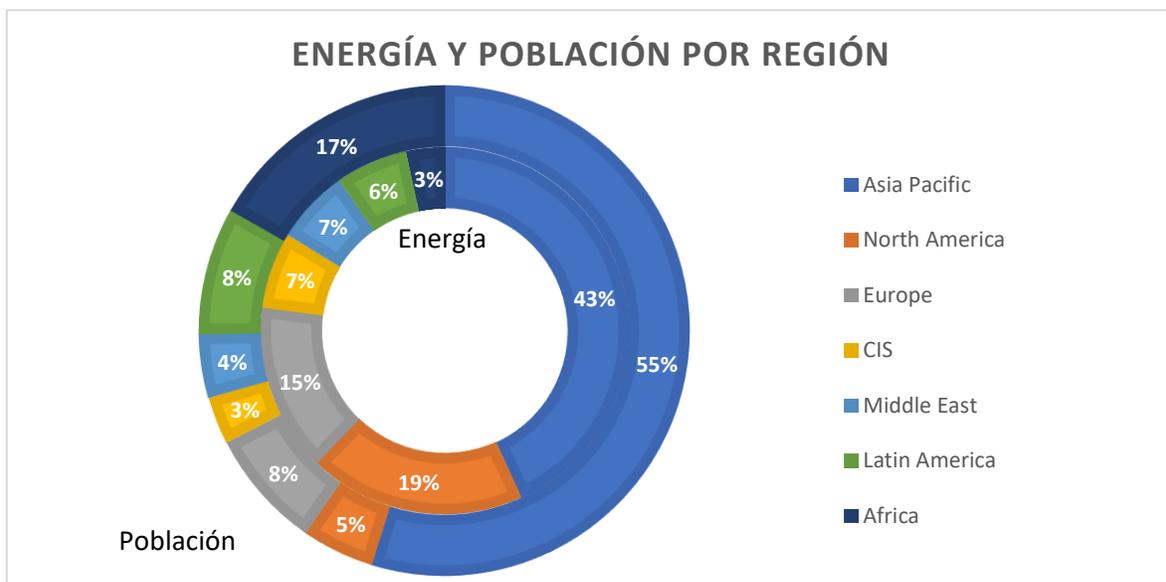
El consumo global de energía primaria en 2019 alcanzó los 159,982 TWh y su combinación energética está constituida 79% por combustibles fósiles, en la cual el petróleo, el carbón y el gas natural representan el 31%, 25% y 22% respectivamente. La energía hidroeléctrica, que es una tecnología madura representa el 6%, la madera tradicional también represento el 6%. Por su parte la energía nuclear representa el 4% y las fuentes de energía renovables representan casi el 5%, que son la solar con 1%, la eólica con 2% y la combinación de otras como la geotérmica, la marítima y el biocombustible no tradicional, que representan solo el 2%. Las fuentes energéticas renovables son las energías más nuevas, pero desde poco más de 30 años se han estado desarrollando. Vivimos en un mundo completamente dominado por las fuentes de energía no renovable y el principal actor es y seguirá siendo el petróleo.



Mapa 2. Regiones Geopolíticas.

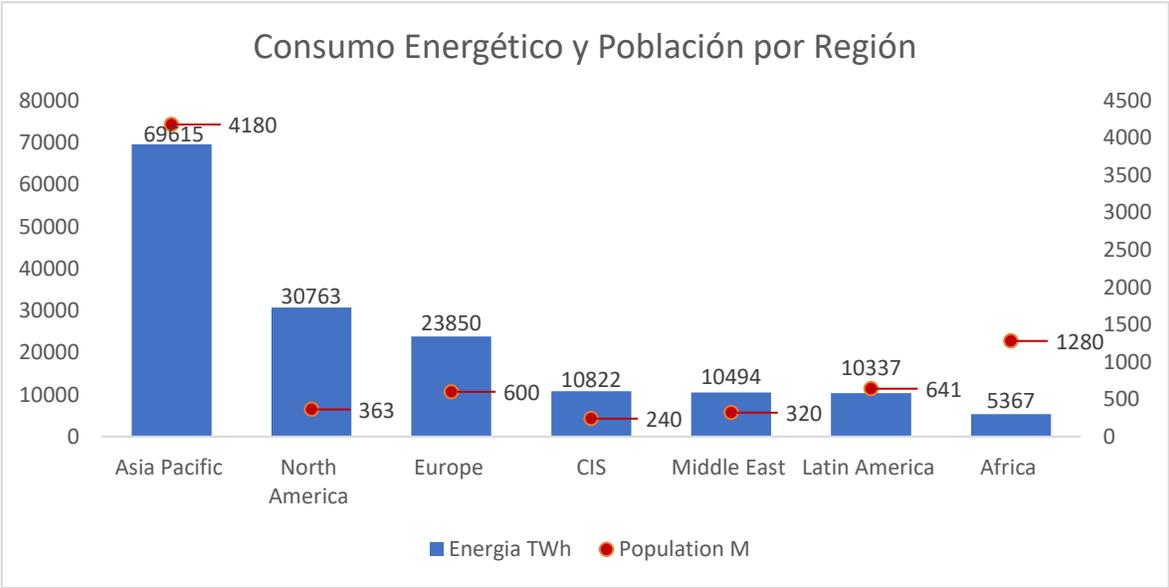
El petróleo es el recurso energético que ocupa mayor parte en el balance de energía primaria abarcando el 32%. Debido a su gran importancia y su papel fundamental en la geopolítica se dividirá el mundo en regiones de acuerdo con qué tan importante son en la producción de petróleo: la primera región es Oriente Medio que tiene una población de aproximadamente 320 millones y la conforman 20 países; la segunda región es América del Norte conformada solamente por Estados Unidos de América y Canadá, que juntos tienen una población de 367 millones. La tercera región es la Comunidad de Estados Independientes (CIS Commonwealth of Independent States) que cuenta con 9 Estados Miembros, un Estado participativo, un Estado asociado y uno Observador. En total son doce países y el más importante es Rusia. La cuarta región es África con sus 54 países y su población de 1,280 millones, la quinta región es Asia Pacífico que tiene la población más grande, con 4,180 millones y la componen los países faltantes de Asia y los países de Oceanía. La sexta región es América Latina y sus 20 países con una población de 640 millones. La séptima región es Europa sin los 7 países que están en la CIS, con una población de 600 millones y un total de 42 países.

El consumo energético es diferente en todo el mundo. Sin embargo, el análisis será respecto a las siete regiones geopolíticamente más importantes: Medio Oriente, América del Norte, CIS, Europa, Latinoamérica, África y Asia Pacífico.

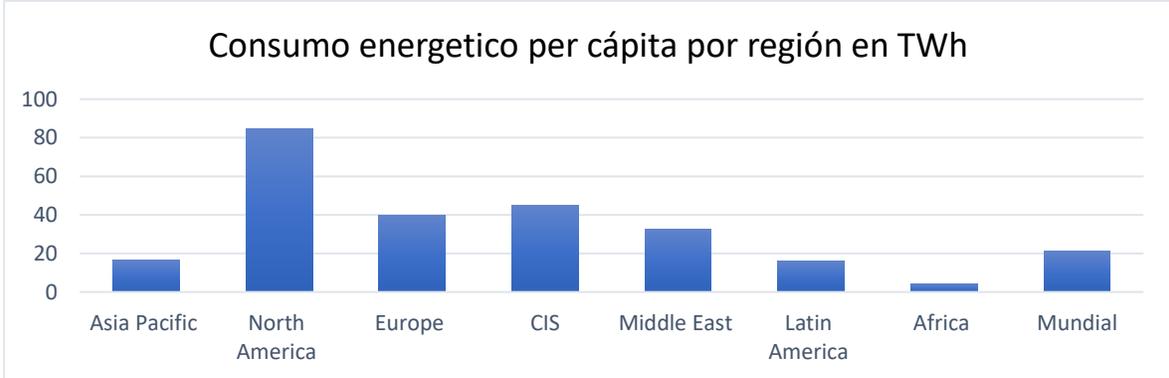


Gráfica 14. Elaboración Propia Fuente: BP Statistical Review 2019 Gapminder, HYDE (2016) and la División de Población de las Naciones Unidas (2019).

La región que más consumió energía en 2018 fue Asia Pacífico con un consumo de 69,615 TWh, lo que representó el 55% del total. Sin embargo, tiene la población más grande de todas las regiones que equivale al 43% mundial, lo que quiere decir que la región está compuesta por países en desarrollo y los más importantes son China e India. La segunda región que más consumió energía fue la de Norte América: Estados Unidos y Canadá, los dos países con una población de solo el 4.7% mundial tuvieron un consumo de 30,763 TWh, lo que representó el 19%, esto significa que lo que consume de energía una persona de América del Norte equivale a lo que 5 personas consumen en la región de Asia Pacífico. Si comparamos el consumo per cápita de Estados Unidos de 80,893 TWh, con India de 7,413 TWh en 2014, nos damos cuenta de que lo que consumieron 11 personas en India lo consumió solamente un norteamericano.<sup>41</sup>



Gráfica 15. Elaboración Propia Fuente: BP Statistical Review 2019 Gapminder, HYDE (2016) and la División de Población de las Naciones Unidas (2019).



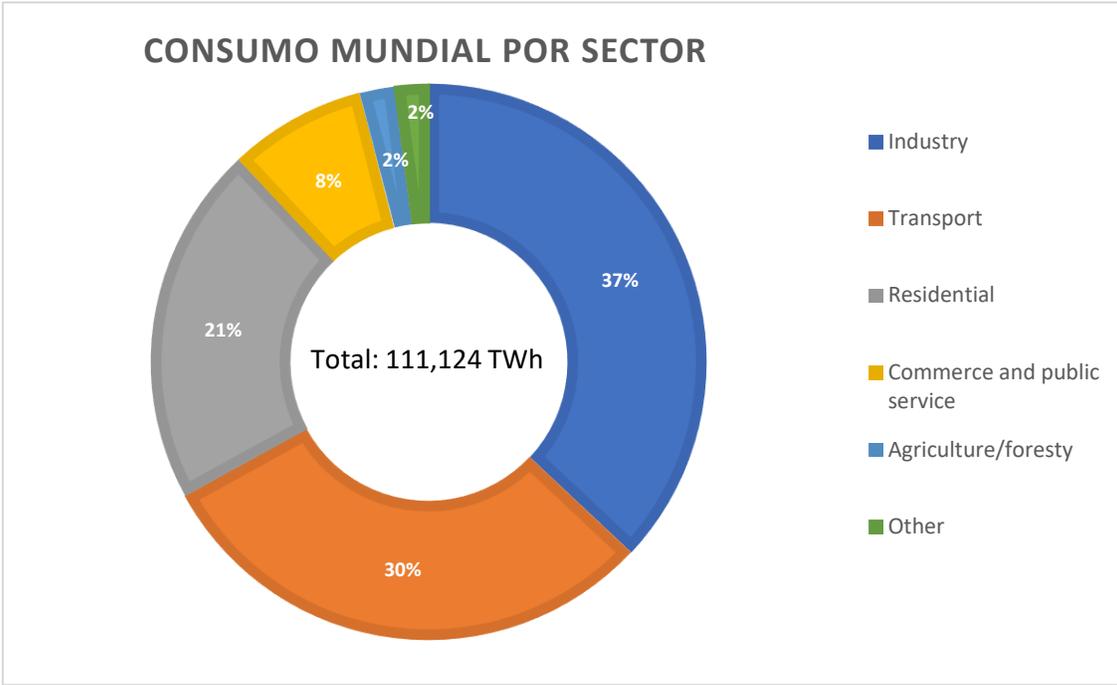
Gráfica 16. Elaboración Propia Fuente: BP Statistical Review 2019 Gapminder, HYDE (2016) and la División de Población de las Naciones Unidas (2019)

<sup>41</sup> BP Statistical Review 2019 Gapminder, HYDE (2016) and la División de Población de las Naciones Unidas (2019)

La región de Europa y CIS consumieron juntas el 22% la energía mundial, siendo el 11% de la población, es decir, un norteamericano consume el doble de energía que un europeo, la región de Medio oriente consumió 10,494 TWh, el 7% de la energía siendo una población equivalente al 4%. Por su parte la región de América Latina tuvo un consumo similar con 10,337 TWh, pero la población es prácticamente el doble, lo que significa que un latinoamericano consume la mitad de energía que una persona de Oriente Medio. La región menos desarrollada es África, su consumo energético fue solamente de 5,367 TWh a pesar de que tienen el 17% de la población si lo comparamos con el consumo per cápita de los norteamericanos, encontramos la diferencia más grande, ya que 20 africanos consumen la misma cantidad de energía que un norteamericano. Es aquí donde se ve la gran importancia que tiene el desarrollo económico en estas naciones.

El consumo energético mundial tiene tres sectores principales que son la industria, el transporte y el residencial, en 2017 estos tres sectores consumieron el 88% de la energía.

42



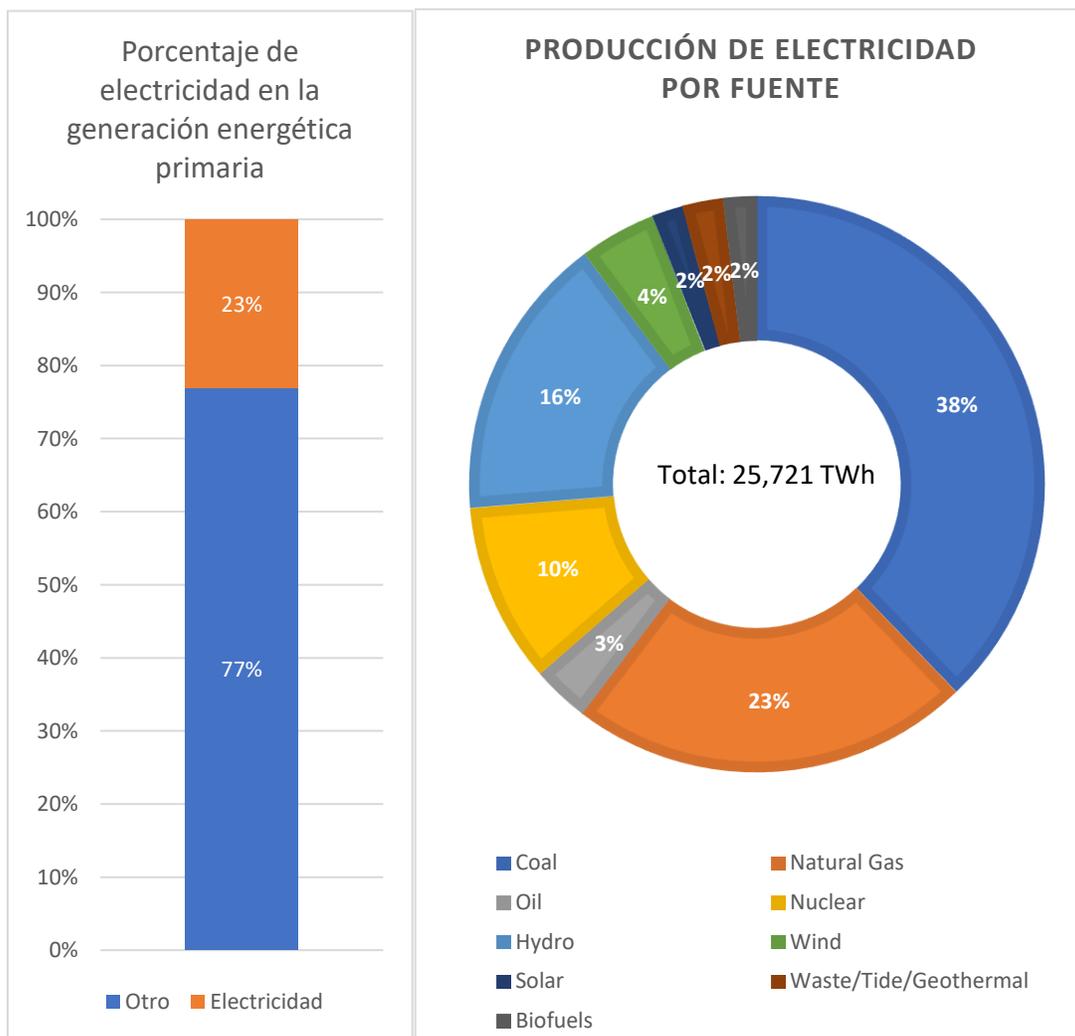
Gráfica 17. World Energy Balance: Overview 2019 IEA

En general estos sectores finales son los que nos hacen tener un crecimiento económico y una mejor calidad de vida, como usuarios de energía final. Probablemente nunca hemos visto un litro de petróleo crudo, sin embargo, cada vez que necesitamos realizar un recorrido en carretera necesitamos cargar gasolina y para tenerla disponible en cualquier gasolinera, el petróleo crudo tuvo que pasar por un proceso de refinamiento para poder obtenerla. Otro ejemplo es la electricidad que ocupamos todos los días de nuestra vida, esta

<sup>42</sup> World Energy Balance: Overview 2019 IEA

electricidad se generó mayoritariamente a partir de carbón o gas natural en alguna central termoeléctrica generalmente muy lejana de donde vivimos. Se da por hecho que debe haber luz, agua, gas, alimentos y transporte en la vida diaria de las personas, sin embargo, pocas veces percibimos el largo proceso energético que existe para tener estos recursos en disponibles y al alcance de todos.

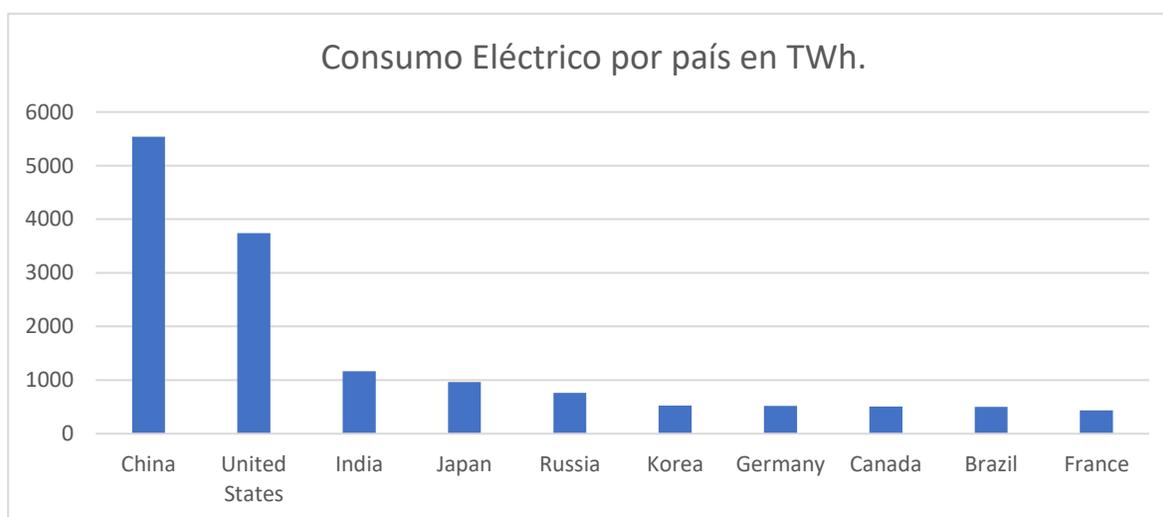
La primera ley de la termodinámica nos dice que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. Como resultado de esta ley nosotros podemos transformar la energía liberada en la combustión de la quema de combustibles fósiles y transformarla en energía útil para la sociedad. También podemos aprovechar la radiación solar o el movimiento de la energía cinética del agua o el aire y transformarla en energía eléctrica. Aquí es de radical importancia analizar lo que pasa con la energía eléctrica mundial y considerarla como fuente secundaria, ya que solo el 23% de las fuentes de energía se utiliza para generar electricidad y el 77% se utiliza para otros fines. Todos los sectores ocupan como uso final la electricidad; unos en mayor medida, como la industria y el residencial, y otros en menor



Gráfica 18. Elaboración Propia Fuente: BP Statistical Review 2019 Gapminder.

medida como el transporte. Sin embargo, todos necesitan de fuentes de energía primaria para su funcionamiento, es decir que la electricidad solo es necesaria en menos de la cuarta parte de los procesos mundiales.

De ese 23% que significó generar 25,721 TWh de energía eléctrica en 2017 casi dos terceras partes provenían de fuentes de energía fósiles: 38% de carbón, 23% de gas natural y 3% de petróleo, que juntas representan el 64%. Otro 10% fue generado a partir de la energía nuclear y por último las fuentes de energía renovables que solo pueden ser utilizadas para generar energía eléctrica representaron el 26% en conjunto, siendo la más grande la energía hidroeléctrica con 16% del total, seguido por la energía eólica con un 4%. La energía solar representó solamente el 2% del total, con solo 455 TWh. También los biocombustibles representaron otro 2% y por último el conjunto de la energía geotérmica, marítima y residuos también representó el 2%.



Gráfica 19. Elaboración Propia Fuente: BP Statistical Review 2019.

El 57% del consumo de la energía eléctrica mundial en 2017, fue de 14,650 TWh.<sup>43</sup> Lo consumieron solamente 10 países: China, Estados Unidos, India, Japón, Rusia, Corea del sur, Alemania, Canadá, Brasil y Francia. El resto del mundo consumió los 11,071 TWh restantes. China y Estados Unidos son por mucho los máximos consumidores de energía eléctrica. China por su gran población consume el 21.5% lo que representa 5,530 TWh. De acuerdo con la Administración de Información Energética de EE. UU., China generaba el 72% de su electricidad con centrales de carbón en 2015, que eran alrededor de 3,800 TWh, cabe destacar que ha bajado su porcentaje de participación de carbón en su balance eléctrico. Sin embargo, en términos absolutos ha aumentado su consumo de carbón, ya que solo en 2017 incrementó su consumo eléctrico 442 TWh y el 50% de ese crecimiento fue a partir de carbón.

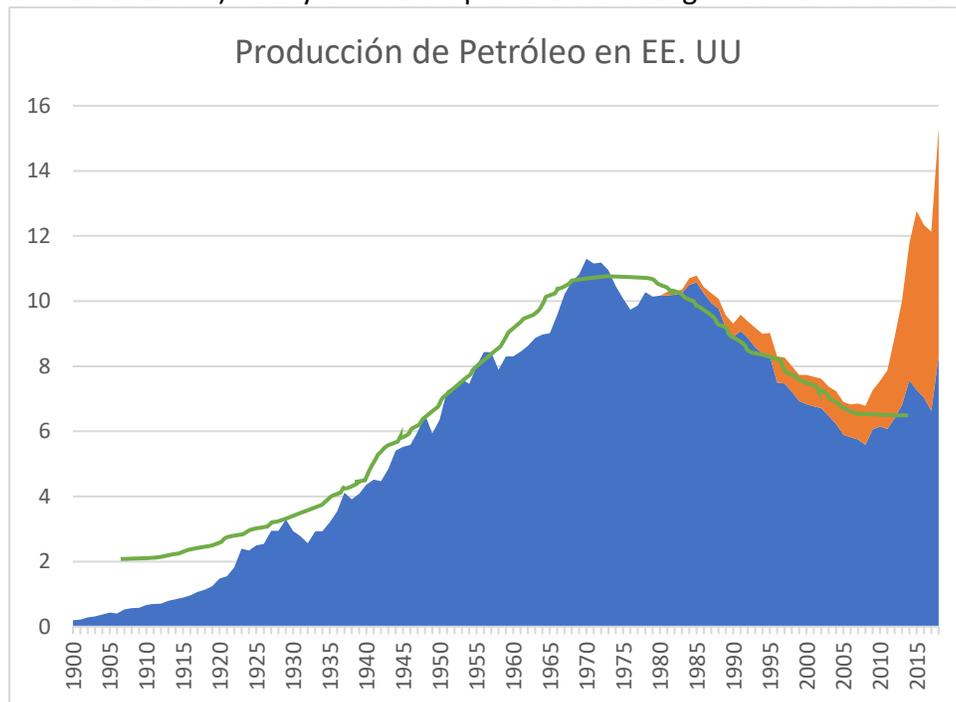
<sup>43</sup> BP Statistical Review 2019.

## 2.2 Reservas Energéticas No Renovables.

El mundo industrializado que ahora conocemos es resultado de la utilización de los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural que desde hace poco más de 200 años hemos utilizado, combinados con el desarrollo tecnológico, sin embargo, son recursos no renovables y el consumo energético se ha incrementado hasta puntos insostenibles en la sociedad moderna, en esta sección se analizaron las fuentes de energía no renovables y sus respectivas reservas para comprender la perspectiva energética del futuro.

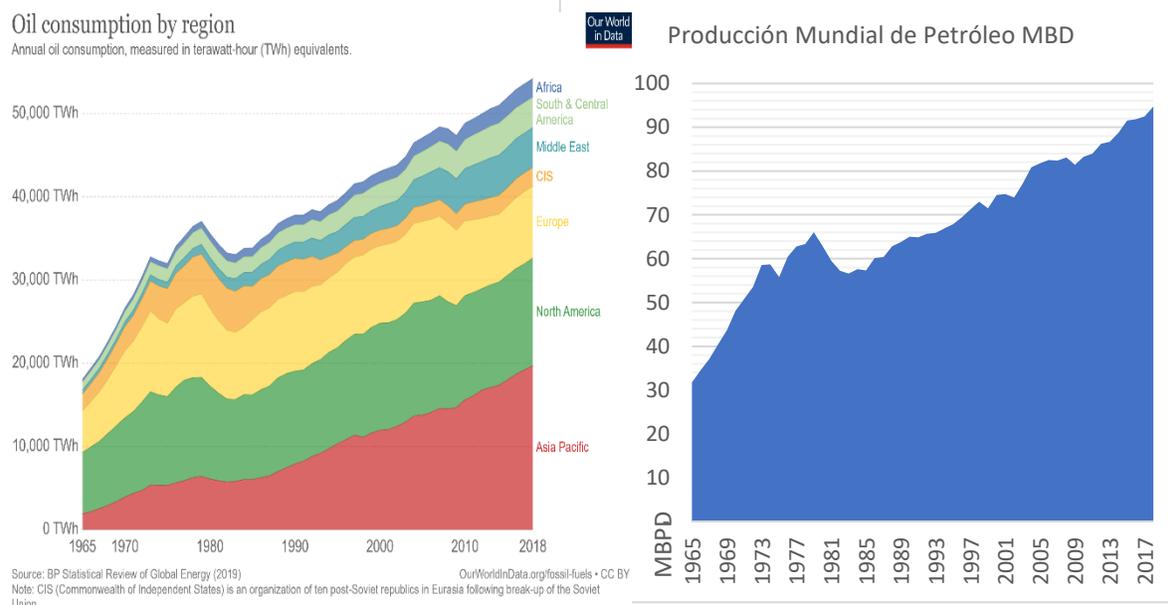
### 2.2.1 Petróleo.

El geofísico estadounidense King Hubbert descubrió que, en condiciones de demanda creciente, la producción de petróleo de un yacimiento o de un país experimenta una evolución similar a una distribución normal o campana de Gauss, alcanzando su pico cuando el 50% del petróleo se ha extraído. En 1956 Hubbert pronosticó que la producción petrolera de Estados Unidos alcanzaría su pico entre finales de 1960 y principios de 1970. Su predicción se confirmó con una asombrosa precisión, ya que el pico de petróleo estadounidense se alcanzó en 1970 con una producción de 11.3 millones de barriles de petróleo al día, y a partir de este año la producción fue cayendo paulatinamente hasta llegar a su punto mínimo en 2008, produciendo solamente 6.7 millones de barriles de petróleo convencional. Como consecuencia de la crisis económica y energética el precio internacional del petróleo llegó a los 98.5 dólares por barril (tomando como referencia el crudo Brent en dólares constantes de 2010). Así los elevados precios del petróleo y los avances tecnológicos permitieron obtener petróleo no convencional específicamente shale oil (Esquisto Bituminoso) a mayor escala a partir del fracking o fracturación hidráulica, un



Gráfica 20. Curva de Hubbert para EE. UU

método de explotación que consiste en perforar grandes profundidades de rocas, para después fracturarlas con la inyección de una mezcla de agua, arcilla y sustancias químicas a elevada presión, lo que permite el flujo de los hidrocarburos antes atrapados en las rocas de esquisto. El fracking permitió romper a EE. UU. su tendencia histórica lograda en 1970 y se convirtió así en el primer productor de petróleo del mundo. Para 2019 la producción de shale oil aumentó a 8.5 MBD convirtiéndose en exportador neto de petróleo.



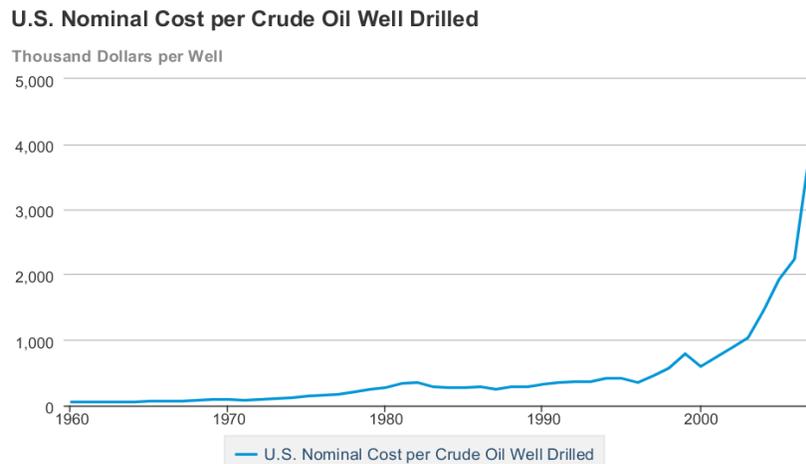
Gráfica 21. Consumo y Producción de Petróleo. Fuente: Ourworldindata y BP Statistical Review.

La primera potencia mundial logró repuntar su producción petrolera e hizo ver que posiblemente Hubbert se había equivocado con su famosa teoría del pico del petróleo. Países que ya habían alcanzado su pico podrían aplicar esta misma técnica e igual repuntar su producción, pero ahora con petróleo no convencional; todo parecía un sueño perfecto para el desarrollo de los hidrocarburos, de la sociedad y económico.

Sin embargo, este sueño para nada es perfecto por diferentes cuestiones, la primera es que 9 de cada 10 compañías operadoras de shale oil se están descapitalizando<sup>44</sup> porque están afrontando flujos de caja negativos. Estas compañías se han refugiado en el mercado de bonos para financiar sus operaciones, lo que está provocando una burbuja económica que tarde o temprano explotará. Cabe destacar el incremento del precio nominal de los pozos de petróleo que provoca que el costo de extraer un barril de crudo sea de 20 dólares en promedio. La segunda cuestión son los riesgos posibles de contaminación de agua debido a los químicos utilizados, la contaminación atmosférica con la emisión de GEI, por último, la tercera cuestión a considerar, tal vez la más importante, es la disminución drástica de

<sup>44</sup> World Energy Trade: Oil and Gas.

producción que tienen los pozos de shale oil donde el pico de producción se da mucho más rápido que el de petróleo convencional.



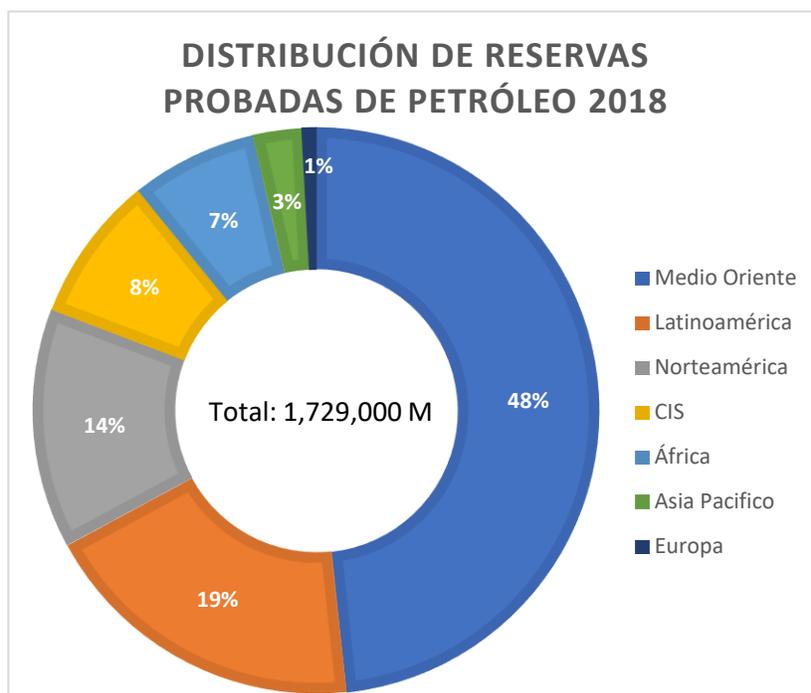
 Source: U.S. Energy Information Administration

Gráfica 22. Costo nominal de crudo. EIA

El 1 de septiembre de 1971 Hubbert publicó en la revista Scientific American el artículo “The Energy Resources of Earth”, donde ubicó el pico de producción de petróleo mundial para el año 2000 con base en las reservas probadas, probables y posibles realizada por la Standard Oil Company en 1967. Para 2010 la Agencia Internacional de Energía publicó en World Energy Outlook que el pico mundial de petróleo convencional se alcanzó en 2006. Sin embargo, la producción mundial de petróleo ha crecido, hasta llegar a los 96 millones de barriles al día en 2018 y superando los 98 MBD en 2019, comparados con los 82 millones de barriles de petróleo al día en 2006. Este aumento es causado por la producción de condensados y petróleo no convencional de esquisto y arenas bituminosas, crudo ultra pesado, aguas profundas y ultra profundas.

Es preciso aclarar que el pico del petróleo no significa el agotamiento del recurso, significa que ya se ha consumido el petróleo de mejor calidad, el más fácil de extraer y el más barato, esto quiere decir que la era de la energía fácil y barata está llegando a su final. El agotamiento del petróleo fácil es la crisis más grave a la que se puede enfrentar la sociedad industrial, porque una vez que se ha extraído la mitad del suministro de crudo que tenemos en el planeta simplemente resulta cada vez más difícil mantener los mismos niveles de producción, el mismo número de barriles diarios y con el tiempo la producción disminuye. A pesar de esto se insiste en que las reservas de petróleo son enormes y que las empresas petroleras están consiguiendo encontrar nuevos yacimientos de crudo “no convencional” en su gran mayoría, ya sea en forma de aceite pesado como es el caso de Venezuela, país con las reservas más grandes a nivel mundial con un total de aproximadamente 300,000 MBP, o las extensas arenas bituminosas en Alberta, Canadá, país con las terceras reservas petroleras más grandes del mundo con cerca de 169,000 MBP. Sin embargo, no han sido explotados a su máximo nivel, pero que ahí están, esperando que las circunstancias

económicas y tecnológicas se puedan dar y así suministrar de petróleo caro y difícil al mundo en el futuro.



Gráfica 23. Distribución de reservas probadas de petróleo. BP Statistical Review.  
Elaboración propia.

Se estima que el volumen total de petróleo mundial histórico ha sido de 3,200,000 MBP aproximadamente, de acuerdo con la revisión estadística de BP. Hemos consumido un total de 1,420,000 MBP para 2018, y que las reservas fueron de 1,729,000 MBP. Esto significa que con el consumo actual de petróleo solo tendremos petróleo para los próximos 48 años.

El consumo de petróleo se ha mantenido en aumento a pesar de los acuerdos internacionales para disminuir los GEI, llegando a superar los 100 y 101 MBPD en 2019 y 2020 respectivamente (en algunos días), superando incluso los escenarios de demanda estimada de petróleo con las políticas de 2015, aún más importante, superando en un 10% la demanda estimada con el escenario 450.<sup>45</sup> Que se refiere al escenario de las políticas de sostenibilidad máxima para limitar el aumento de temperatura global a 2 °C del IPCC. Si continuamos con este consumo en 45 años consumiremos el mismo petróleo que hemos consumido en 150 años, lo que significa que para el año de 2065 habremos consumido todo el petróleo que había en el mundo, si fuese posible extraerlo.

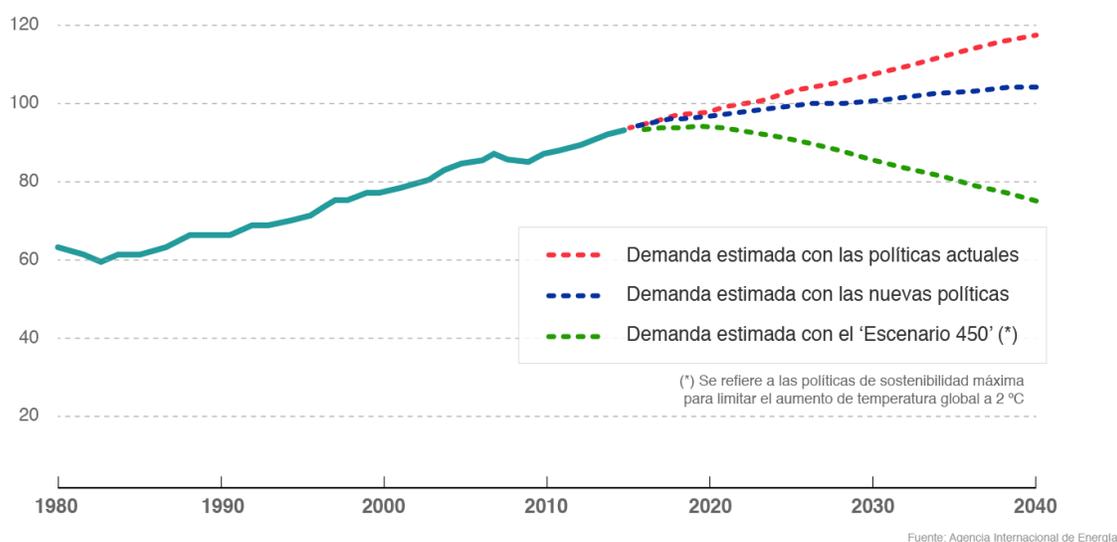
La geopolítica del petróleo siempre ha sido compleja y muy variable, sin embargo, tiene tres factores que la afectan principalmente; el primero es el papel dominante de Estados Unidos, ya que es el país más dependiente y que más se ha desarrollado gracias a este hidrocarburo.

<sup>45</sup> Agencia Internacional de Energía.

Su apetito voraz y aparentemente ilimitado ejerce una influencia incesante sobre los demás países actores y sobre la configuración del orden político mundial. El segundo factor en la geopolítica del petróleo es el crudo de Medio Oriente y las políticas implementadas por la OPEP, principalmente Arabia Saudí que posee alrededor de 297,000 MBP de reservas y que se refina fácilmente, pero sobre todo la facilidad para extraerlo, concediendo una gran flexibilidad con la capacidad de aumentar o disminuir la producción como ellos lo quieran y disminuyendo los costos por extracción. El tercer factor es el precio del petróleo, siempre variable y que pone en marcha la geopolítica, ya que si Estados Unidos y su enorme mercado determinan los que están dentro o fuera de la geopolítica del petróleo y Arabia Saudí impone las leyes del mercado, y el precio del petróleo lo que hace es determinar el flujo del dinero internacional y de la fluencia policia. Como consecuencia, el precio del petróleo impone el ritmo en que crecen las economías, además el precio controla también cuánta energía utilizamos y por lo tanto si consumimos, conservamos o mantenemos las fuentes de energía actuales o se desarrollan otras nuevas.

### Evolución de la demanda de petróleo en distintos escenarios

Datos en millones de barriles diarios



Gráfica 24. Demanda de petróleo en distintos escenarios. EIA.

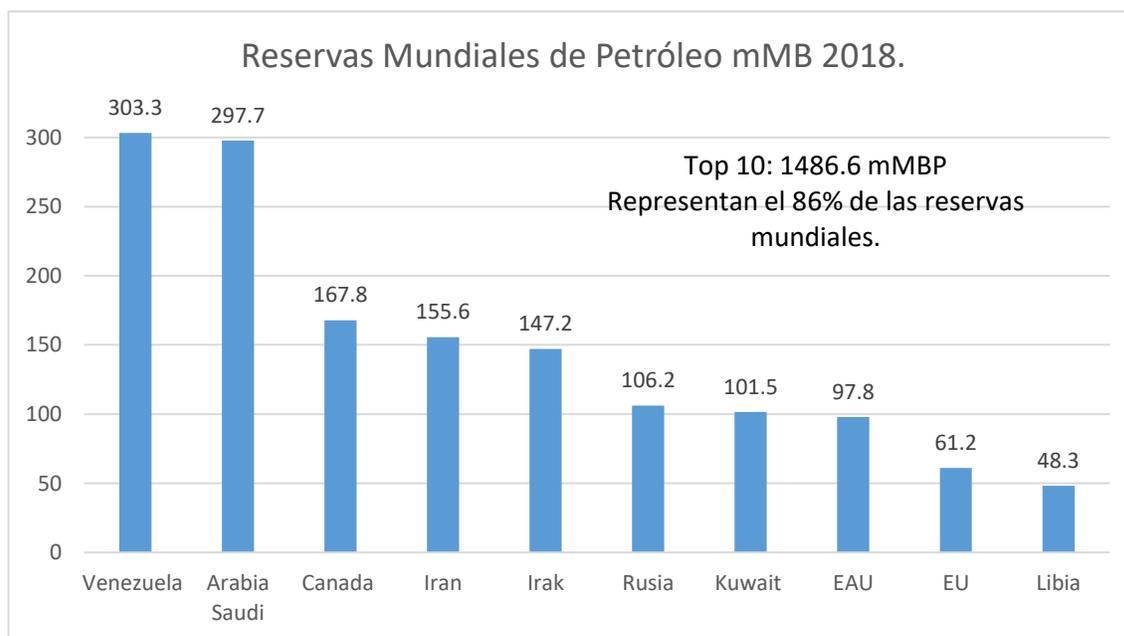
Como se comentó al principio de este capítulo, el tema de la energía es muy amplio, complejo y variable que hace que sea prácticamente imposible predecir qué es lo que va a pasar en el futuro y acertar en algo. El petróleo es por mucho nuestra fuente principal de energía y es la que más volatilidad tiene y poco sabemos lo que el futuro nos depara; pero si conocemos lo que ha ocurrido en el pasado y por más de 50 años no hemos entendido lo que significa el desarrollo sostenible, no hemos entendido que se necesita de la cooperación internacional para crear resultados y no promesas como Naciones Unidas ha venido haciendo, porque cada país vela por su propio interés, los países de primer mundo solo están preocupados porque sus economías no caigan y creando propaganda para ser

los pioneros en el desarrollo de nuevas tecnología para la generación de energía más limpia, sabiendo ellos mismos que la energía renovable nunca podrá suplir a la energía fósil, sabiendo que ya hay demasiada riqueza en el mundo y queriendo acaparar más. El cambio climático es un tema del que todos saben, pero es algo que realmente a nadie le importa, porque lo único que importa en la actualidad es ser más ricos, tener mayor crecimiento económico y compartir ese miserable 0.7% de lo que sobra, a los países que más lo necesitan. El cambio climático es un problema, la pobreza extrema es otra, el gran aumento demográfico es otro, el extractivismo es otro problema, por cierto, muy importante, que pocos ven, pero el único problema que el mundo aparenta ver y el que realmente le importa es, el crecimiento económico que no es más que solamente resultado de los cuatro problemas antes mencionados por no tener la capacidad de haber hecho cambios cuando se tenían que hacer. Hoy solamente estamos viendo el resultado de 150 años de industrialización, pero sobre todo estamos viendo el resultado, reflejado en problemas del mal manejo de los recursos para generar riqueza en los últimos 70 años y lo peor es que se quiere que ahora si cambiemos, pero que lo hagamos en 10 años, cuando se ha generado una gran inercia. Lo único posible a esperar no es un cambio porque nuestra sociedad haya querido sino un cambio forzado que nos pare en seco y nos haga aprender realmente lo que necesita la humanidad.

Es imposible crear una tesis precisa porque los datos energéticos y en particular del petróleo cambian, porque si revisamos en la Organización de Países Exportadores de Petróleo encontramos unos, si consultamos la Agencia Internacional de Energía encontramos otros, si consultamos a la Administración de Información Energética encontramos otros, si buscamos en compañías petroleras encontramos otros, y concluyo pensando que si en algo tan importante y preciso como lo es el petróleo no se pueden poner de acuerdo, no vamos a poder ponernos de acuerdo para tener un desarrollo sostenible, si es que puede existir, porque de nuevo cada institución vela por los intereses de los países que representa. Pero continuemos hablando de energía.

Se estima que en todo el mundo habían 3,200,000 millones de barriles de petróleo de los cuales ya hemos consumido aproximadamente 1,420,000 millones y se supone que nos quedan 1,729,000 millones para el resto de nuestra historia y dudo que seamos capaces de consumirlo todo, no porque no lo necesitemos sino porque será prácticamente imposible extraer el último petróleo que quede. El petróleo que ya hemos consumido tenía las características geológicas y técnicas que hacían que su extracción fuera mucho más sencilla. Sin embargo, el petróleo que nos queda es cada vez más difícil de extraer debido a que estas características geológicas han cambiado y los yacimientos son más complejos o a mayor profundidad, y que en gran parte es petróleo no convencional que a pesar de ser más difícil de extraer produce menos energía que el petróleo convencional.

De acuerdo con los datos estadísticos de BP, en 2018.<sup>46</sup> Venezuela con 303,300 MB es el país con mayores reservas de petróleo del mundo seguido por Arabia Saudí con 297,700 MB. Solo estos dos países poseen el 35% de las reservas de petróleo mundial, sin embargo, el petróleo venezolano es muy diferente al petróleo saudí. El Top 10 de los países con las reservas más grandes controlan el 86% de las reservas de petróleo mundial, esto hace que el mercado se concentre en esos países y en sus políticas petroleras. La Organización de Países Exportadores de Petróleo cuenta con 7 países en la lista de los 10 con mayores reservas, solamente Canadá, Rusia Y Estados Unidos no pertenecen a la OPEP. México se encuentra en el lugar número 20 solamente con unas reservas de 7,700 MB. si consideramos el consumo diario de 100 MB que se estaba teniendo a principios de 2020, México con sus reservas petroleras podría abastecer de petróleo al mundo durante solamente 77 días, solamente si fuera posible extraer hasta el último barril de petróleo que hay en México.



Gráfica 25. Top 10 Reservas Mundiales de Petróleo. BP.

El caso del continente europeo es abatido, tienen unas reservas de 14,300 MB. Los únicos países que cuentan con más de 1,000 MB de petróleo son Noruega con 8,600 MB y Reino Unido con 2,500 MB. El petróleo de Europa podría abastecer al mundo menos de cinco meses, enfatizamos que, aunque su consumo petrolero no es el mayor en el mundo, si son grandes consumidores de energía y que son los países a los que más les urge la tan famosa transición energética y diversificar su matriz energética para dejar la dependencia del petróleo, aunque ellos lo hagan ver como acción por el clima; es evidente que las razones son otras.

<sup>46</sup> Reservas mundiales de petróleo. British Petroleum. 2018.

No solo es importante la cantidad de petróleo que se tiene en reservas, o cuánto petróleo se está extrayendo, otro factor importante es la calidad del petróleo porque no todo el petróleo es el mismo y los costos por extraerlo y refinarlo también son distintos en cada país y esta calidad depende de dos factores: el primero es la densidad, que se mide en grados API (American Petroleum Institute). Según la escala API cuanto más alto sea el índice menor será la densidad del crudo, la mayoría de los crudos se encuentran entre 27 y 40 grados API: crudos menores a 27 se consideran pesados y aquellos de cerca de 40 grados API son ligeros. El segundo es el contenido de sulfuros, donde el crudo dulce contiene menos de 0.5% de sulfuros y es ampliamente usado para ser procesado como gasolina, comparado con el petróleo agrio que contiene más de 1% de sulfuros en su composición, provocando que el costo de refinamiento sea mayor, y por esta razón se usa en su mayoría para en productos destilados, como el diésel. Estos factores han hecho que Venezuela, a pesar de contar con las mejores reservas, no pueda desarrollarse como los países de medio oriente, ya que el petróleo tiene unas características muy distintas: es ultra pesado y agrio, más difícil de extraer, sumado a los problemas políticos, económicos y sociales que vive el país.

El petróleo ligero y dulce es el primer tipo de petróleo en fluir en un yacimiento y por lo tanto el primero en agotarse; es el tipo de petróleo que hemos estado consumiendo en su gran mayoría. Sin embargo, el petróleo de aguas ultra profundas y una parte importante de lo que queda en los yacimientos gigantes de Oriente Medio es un petróleo pesado que pocas refinerías pueden procesar, aún de menor calidad es el petróleo no convencional: el crudo ultra pesado del Orinoco en Venezuela o las arenas bituminosas que se explotan en Alberta, Canadá (Ferrari, 2012).<sup>47</sup>

La producción del petróleo no convencional tiene grandes costos económicos y ambientales, sumados a una baja tasa de retorno energético EROI (Energy Return on Investment), concepto que se ha desarrollado recientemente para estimar el costo energético de la producción del petróleo u otra forma de energía de tal forma que pueda ser desligado de su costo económico. El EROI nos indica, cuanta energía se necesita para producir cierta fuente de energía.  $EROI = \text{Energía ganada} / \text{Energía requerida para obtener esa energía}$ .<sup>48</sup>

De acuerdo con el artículo publicado por D. Murphy y S. Hall en 2010 en la Academia de Ciencias de Nueva York demuestran que la sociedad incluso en su nivel más bajo no puede funcionar con un EROI menor que 3:1 y que debe ser más alta para mantener los servicios básicos de educación y salud.

Continuando con el petróleo, la estimación del EROI considera la energía para producir un barril de petróleo y la energía utilizada para poder transportarlo hasta el lugar de refinación,

---

<sup>47</sup> Calva José Luis. Ferrari Luca. Crisis Energética Mundial y Futuro de la Energía en México. Consejo Nacional de Universitarios. 2012.

<sup>48</sup> J Murphy and S. Hall Year in review—EROI or energy return on (energy) invested Article in Annals of the New York Academy of Sciences. 2010.

las estimaciones del EROI del petróleo de Estados Unidos indican que el petróleo que se producía en 1930 tenía un EROI de 100:1; es decir, que se necesitaba 1 barril de petróleo para producir 100 barriles de petróleo, en 1970 de 30:1 y en 2005 estaba entre 18:1 y 11:1. El petróleo no convencional de Venezuela y Canadá tienen un EROI de 5:1 y de 3:1 respectivamente, y por último, el EROI mundial en 2006 fue de 18:1 (Gagnon, 2009).

La tendencia del EROI del petróleo nos indica que cada vez estamos obteniendo menos energía útil para la sociedad, ya no es lo mismo extraer 100 barriles de petróleo que nos costaba invertir solamente un barril de petróleo, ahora si invertimos ese mismo barril de petróleo obtendremos solamente 12 barriles, es decir que nos cuesta ocho veces más obtener energía en la actualidad. El EROI es aplicable para cualquier recurso energético y cuando llegue el momento de cada uno se analizará su respectivo EROI.

El pico del petróleo representa el fin de la era del petróleo barato, dulce, ligero, fácil de extraer y refinar, para anunciarnos la crisis energética que se avecina, pero parecemos confiados porque tenemos petróleo para unos cincuenta años sin pensar que ese petróleo es cada vez de peor calidad y pensamos que para esos años ya habremos desarrollado nuevas fuentes alternativas de energía y limpias con el medio ambiente. Sin embargo, parece que no nos estamos dando cuenta de la magnitud del problema y tampoco podemos ver las crisis sociales, económicas, políticas e incluso ambientales que traerá consigo la crisis energética del petróleo.

En el comienzo de 2020 el consumo mundial diario de petróleo era de 101 MBD, en 2019 consumimos más petróleo que en cualquier año. De acuerdo con la OPEP se prevé un rebote récord de la demanda de petróleo en 2021 con una histórica subida de 7 MBD.<sup>49</sup> Impulsada por la esperada recuperación económica, debido a la crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19, que ha ocasionado el hundimiento del consumo en 2020, ya que la OPEP sitúa un descenso de 9 MBD, de esta forma la OPEP calcula que el mundo consumirá en 2020 un promedio de 90.72 millones de barriles por día, mientras que en 2021 serán 97.7 millones.

A pesar de la crisis en 2020 se prevé un incremento en el consumo de petróleo, aunque yo no sé hasta qué dimensiones, y desde mi punto de vista y conociendo el tipo de petróleo que nos queda, en su mayoría no convencional, de aguas ultra profundas, arenas bituminosas y esquisto de peor calidad, más costoso de extraer y con una tasa de retorno energético cada vez menor, se me hace difícil pensar que continuaremos incrementando nuestro consumo en el futuro. Todavía peor, ese petróleo que nos queda dudo que nos de energía para cincuenta años, porque ahora cada barril de petróleo nos da menos energía y nos cuesta más, y de acuerdo con las características antes mencionadas, considero que continuaremos viviendo de manera normal hasta 2030; de ahí en adelante los problemas aquí mencionados serán más evidentes y la producción no podrá detener su tendencia en picada, consecuencia de no haber entendido los problemas de los que ya éramos

---

<sup>49</sup> Cinco días. El país. Mercados. La OPEP prevé un rebote récord de la demanda petrolera en 2021. 2020.

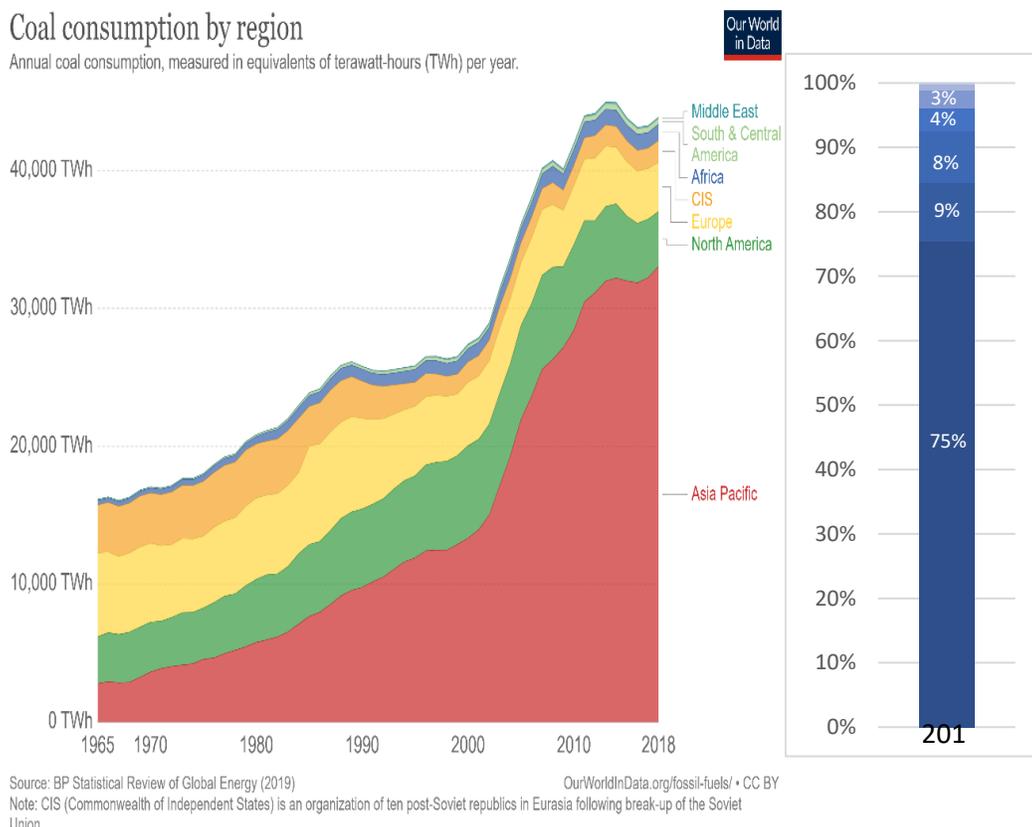
conscientes desde hace 50 años y por no haber puesto soluciones efectivas en estos años. Considero que debemos dejar de ser pesimistas u optimistas cuando se habla de energía y comencemos a ser realistas y competentes ante los problemas que estamos a punto de enfrentar.

### 2.2.2 Carbón.

El carbón permitió el desarrollo de la primera revolución industrial con la invención de la máquina de vapor en el siglo XVIII, cuando Inglaterra era el principal productor, sin embargo, su uso era moderado y no fue hasta principios del siglo XX cuando el carbón representó el 50% del consumo global de energía, que eran aproximadamente 5,727 TWh y el otro 50% era madera. Para el 2017 el carbón representó el 27% del balance energético mundial y se consumieron 43,225 TWh, que equivale a 7.5 veces más que en 1900.

El consumo mundial primario de carbón en 2018 fue de 43,969 TWh y tuvo un incremento de 1.4% respecto a 2017, siendo el carbón la segunda fuente de energía con mayor demanda, aumentando 647 TWh. Este incremento es mayor que la generación de energía solar en 2018, que fue de 585 TWh. Pero si lo analizamos por regiones, la región de Asia Pacífico fue por mucho la que más consumió carbón, con un 75%, es decir, 33,045 TWh.

Solamente de 2013 a 2016 se disminuyó el consumo de carbón en 4% en el intervalo de los tres años y para 2017 volvió a incrementarse el consumo. Todo el crecimiento del consumo



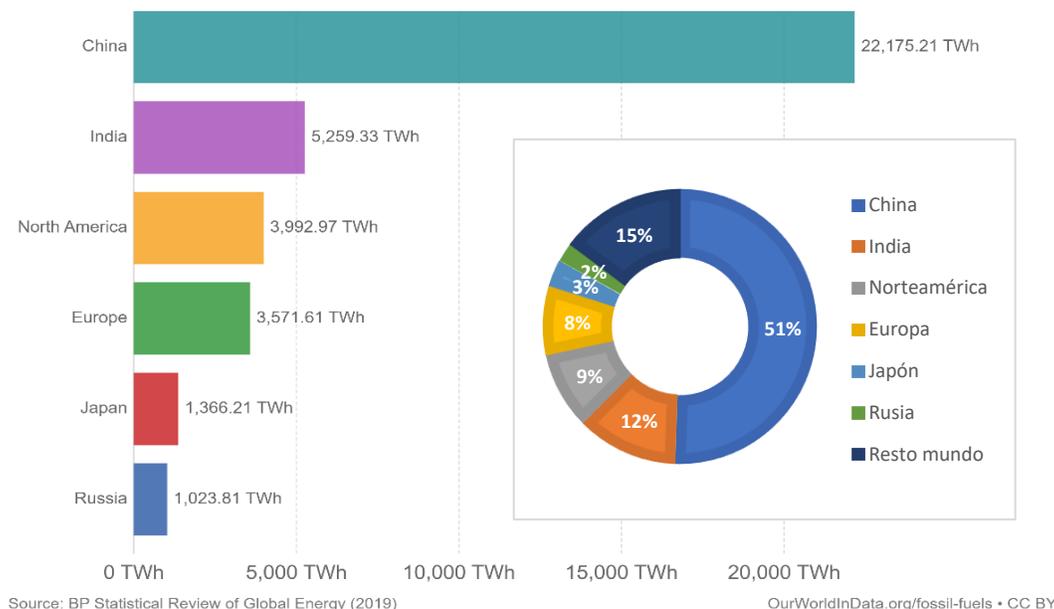
Gráfica 26. Consumo de Carbón por Región.

mundial de carbón se destinó al sector eléctrico y este crecimiento fue impulsado por Asia Pacífico, específicamente China, India e Indonesia los tres más grandes consumidores de carbón. Recordando que esta región es la más poblada del mundo con un 43% del total, y es por mucho la región que más consume carbón. Por otra parte, los países de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE, que cuenta con 36 miembros que son las principales economías europeas, excepto Rusia, e incluidos Israel, los países de América: Canadá, Estados Unidos, México y Chile y los de Asia Pacífico: Corea del Sur, Japón y Australia, cayó en su nivel más bajo de consumo de carbón desde 1975. Sin embargo, es conveniente revisar lo que pasa con algunos países europeos como Alemania y Polonia que, aunque su consumo es insignificante respecto a China, es interesante saber lo que proponen y lo que hacen con el carbón.

China es el mayor consumidor de carbón con una población de 1,420 millones y con una economía que se ha mantenido creciendo. Consume el 51% de la energía generada a partir de carbón, seguido por el otro gigante asiático, la India, que consume el 12% aunque su consumo per cápita sea 4.5 veces menor al de China. A pesar de esto existen seis países que consumen aún más carbón per cápita que China, estos son Kazajistán que tuvo el mayor consumo per cápita de carbón con 23.45 MWh en 2015. Seguido por Australia, Corea del sur, Taiwán, Republica Checa y Sudáfrica, consumiendo en promedio 20 MWh representando el 2.44% de la población mundial. Continuando con China, ya ha superado incluso a Estados Unidos, Alemania y Japón que en ese año tuvieron un consumo per cápita de 14.24 MWh, 11.17 MWh y 10.9 MWh respectivamente.<sup>50</sup>

### Coal consumption, 2018

Coal consumption by country or region, measured in terawatt-hour (TWh) equivalents.



Gráfica 27. Consumo de Carbón por País.

<sup>50</sup> BP Statistical Review of Global Energy. 2019.

El carbón causó un aumento del 1.7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2018. La IEA publicó en su informe de marzo de 2019 que la demanda energética mundial creció en 2.3% en 2018 y fue el ritmo de crecimiento más rápido de la década, a pesar de los acuerdos de 2015, lo que aumentó considerablemente las emisiones mundiales de GEI. En Asia la demanda de electricidad ha seguido creciendo y el carbón sigue y seguirá siendo la mayor fuente de electricidad generada. Debido al gran consumo que tienen los países asiáticos, en el futuro será crucial lo que ocurra en Asia, el carbón es el combustible más grande en la combinación energética industrial, y es indispensable para los subsectores del hierro, el acero y el cemento, y particularmente en China, el subsector químico, y es complicado, por no decir imposible, encontrar sustitutos para el carbón en estos subsectores industriales. La demanda mundial del acero ha crecido fuertemente en los últimos años y de acuerdo con las perspectivas de la IEA se espera que siga aumentando debido a la expansión económica de India, los países de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático, ASEAN, y los países de África.

Los materiales son los componentes básicos de la sociedad, ya sean metales, polímeros o cerámicos. Todos llevan un proceso que utiliza energía y contaminan el medio ambiente, pero dependemos de ellos porque constituyen la infraestructura, la maquinaria, el equipo y los bienes que permiten a la sociedad desarrollarse, porque a medida que la economía y la población de un país crecen, también lo hace la demanda de los materiales, y el consumo energético aumenta ya que es crítico para su producción. El sector del acero depende en gran medida del carbón, que en la metalurgia física se utiliza como agente reductor para extraer el hierro y proporcionar el contenido de carbono necesario en el acero. Para poder reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a largo plazo se requiere un cambio radical en la forma que se produce el acero primario y la adopción de nuevas tecnologías. Por parte del subsector del cemento, las estrategias para reducir la emisión de carbono en su producción radican en mejorar la eficiencia energética y cambiar por combustibles con menos carbono, avanzar en la innovación tecnológica y de procesos e incrementar la eficiencia respecto al Clinker, que es el ingrediente principal del cemento y es directamente proporcional a las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la fabricación de cemento. Por último, el subsector químico, que es el tercero en la emisión de CO<sub>2</sub> debido a la demanda de los productos químicos de alto valor, fertilizantes y de plásticos. El uso de los productos químicos debe mejorarse para reducir nuestra dependencia y mejorar las prácticas de gestión de residuos.

El carbón y en general los combustibles fósiles son esenciales para el sector industrial, que es prácticamente dependiente en todo el proceso y que, a su vez, es equivalente en las emisiones de GEI que se producen con el desarrollo de los países menos desarrollados, y que también siguen produciendo los países desarrollados, dejando a un lado el concepto de desarrollo sostenible por querer que las economías crezcan y que sus habitantes en la actualidad puedan tener una mejor calidad de vida, prácticamente sin importar los daños de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El concepto de neutralidad de carbono nos dice que cualquier CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera por la actividad humana se tiene que equilibrar con una cantidad equivalente que se elimina, que de acuerdo con los compromisos internacionales de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera que deben caer por debajo de cero para 2050, logrando emisiones netas negativas. Existen diferentes formas de eliminar el CO<sub>2</sub> como soluciones basadas en la naturaleza, que incluyen la reforestación y la restauración de hábitats marinos, que continúen extrayendo CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Otra solución son los procesos naturales mejorados, como pueden ser los métodos agrícolas modernos para acelerar los procesos naturales que absorben CO<sub>2</sub> y por último las soluciones tecnológicas, que pueden ser almacenamiento de carbono o captura directa de aire para la eliminación de carbono a gran escala, que podrían desempeñar un papel importante en la lucha contra el cambio climático.

De acuerdo con el IPCC el uso de la tierra mediante medidas agrícolas y forestales se podrían eliminar 1,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y cerca de 11,000 millones de toneladas para 2050, por parte de la captura de CO<sub>2</sub> se podría reducir en 8,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> para el mismo año, es decir, que para 2050 se podrían eliminar de la atmósfera cerca de 21,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> que, si lo ponemos en contexto con el 2018, el año con más emisiones hasta ahora, que fueron 33,000 millones de toneladas y que tendría que disminuir considerablemente, debido al uso eficiente de energía así como al avance tecnológico y a las políticas implementadas, se podría decir que si logramos disminuir de manera efectiva las emisiones de CO<sub>2</sub> a una tasa del 1.2%, que es bastante realista y no idealista, como lo es el plan de acción del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2019).<sup>51</sup> Donde señala que los países deben multiplicar por cinco el esfuerzo actual para la mitigación de CO<sub>2</sub>, teniendo que disminuir un 7.6% anual entre 2020 y 2030, que a mi parecer es imposible debido al aumento en la demanda de carbón en Asia Pacífico que es responsable del 75% de las emisiones de CO<sub>2</sub> por carbón donde las perspectivas indican que estará en aumento, mientras los países de la OECD posiblemente continúen disminuyendo, pero la proporción es menor.

Entonces aquí vemos dos factores clave, el primero es el importante papel que juegan los países de Asia Pacífico especialmente China e India que, si no disminuyen sus emisiones, poco podremos avanzar como estrategia mundial, y el segundo factor es el del desarrollo de las formas naturales y tecnológicas para eliminar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Siguiendo al IPCC, podríamos eliminar 20,000 millones de toneladas. Si todas las naciones se comprometen a reducir progresivamente las emisiones de CO<sub>2</sub> en 1.2% hasta 2050, emitiremos a nivel mundial alrededor de 24,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y, continuando con la perspectiva de eliminación de CO<sub>2</sub> del IPCC, podríamos decir que el problema de las emisiones de CO<sub>2</sub> sería prácticamente resuelto para ese año ya que las

---

<sup>51</sup> Informe Brecha de Emisiones. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2019.

emisiones podrían llegar a ser equivalentes a las del año de 1900, es decir, que de solamente 3,000 millones de toneladas, un 90% menor a las emisiones actuales.

Ahora podemos pensar que seremos capaces de disminuir el 90% de nuestras emisiones, pero aquí juegan nuevamente otros dos factores, ya que solamente disminuirémos el 27% de nuestras emisiones en 30 años, lo que es bastante realista a partir de la reducción de emisiones y el segundo es que, el desarrollo de la eliminación y captura, ya sea natural o tecnológica, de CO<sub>2</sub> nos permitirá seguir desarrollando a todas las naciones sin las preocupaciones del cambio climático, que como vimos podría resolverse para 2050, así que debemos darle la misma importancia a disminuir nuestras emisiones de CO<sub>2</sub> como al desarrollo de captura y eliminación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

Ahora el problema más grande para el desarrollo sostenible no son las emisiones de GEI ni el calentamiento global, sino las reservas energéticas con las que contamos y la dependencia con la que estamos sometidos a los combustibles fósiles.

Para analizar este problema desde el contexto del carbón, nos puede parecer complicado ya que es por mucho nuestro recurso con mayores reservas, pero al mismo tiempo es el recurso energético que más contamina, así que el uso racional del carbón en los próximos 30 años será clave para nuestro desarrollo.

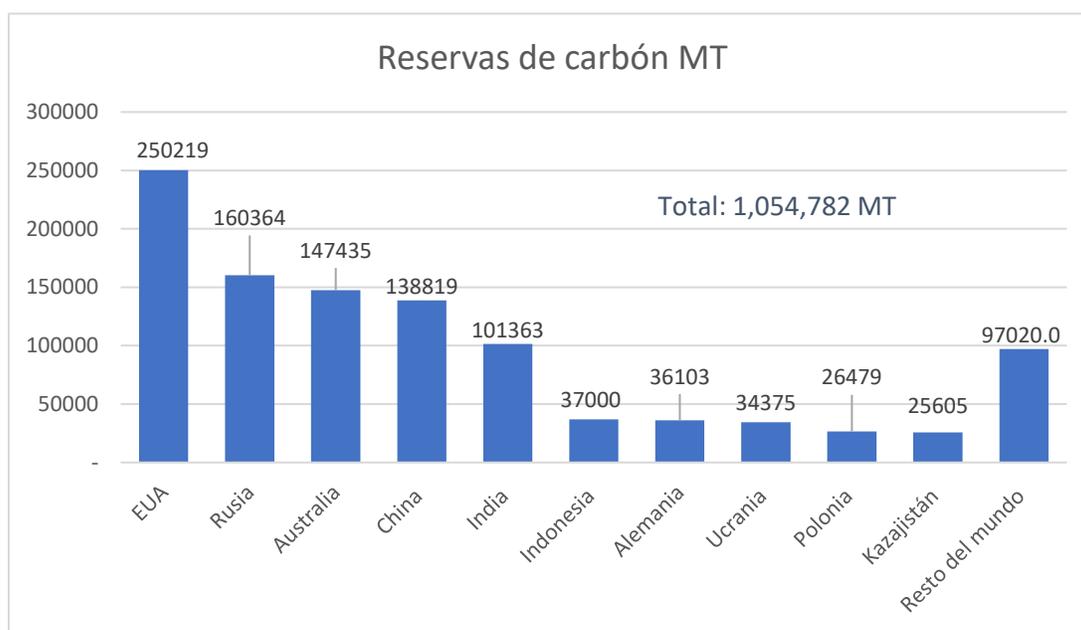
Los recursos no son equitativos en todos los países y al igual que el petróleo, el carbón se distribuye en solo unas cuantas naciones, pero aquí se manifiesta aún más la desproporcional distribución de los recursos, ya que solo los primeros cinco países con las mayores reservas de carbón acaparan el 75.6% del total mundial, que son: Estados Unidos a la cabeza con el 24%, seguido por Rusia con el 15%, después Australia con el 14%, enseguida China con el 13%, y no quedándose atrás India con el 10%. Si agregamos los otros cinco países con las mayores reservas vemos que tienen el 90.8% de las reservas, que son Indonesia, Alemania, Ucrania, Polonia y Kazajistán, con un 3.5%, 3.4%, 3.3%, 2.5% y 2.4% respectivamente.

El resto del mundo tiene solo el 9% de las reservas, y México cuenta solo con el 0.1% de carbón mundial, es por eso por lo que en la matriz energética mexicana aparece con una mínima proporción el carbón y a pesar de tener tan poco carbón podríamos seguir utilizándolo por unos 89 años.

En general, el mundo entero, con el consumo actual de carbón que tiene podría abastecer sus necesidades por 132 años más, y si consideramos que, para cumplir los acuerdos internacionales, disminuirémos nuestro consumo de carbón conforme vayamos avanzando, podríamos decir que tenemos carbón para más de un siglo y medio, es decir, podríamos llegar casi al año 2200 y seguirá habiendo carbón. Tal vez para esos años el carbón ya no será necesario, o tal vez sí, pero seguramente el futuro será muy diferente a como lo imaginamos, ya que es incierto. La vida en la actualidad es más cambiante que nunca, así que por ahora está de más pensar en lo que pasará en 2200, pero si es indispensable pensar

y actuar por lo que va a pasar en 2050, o incluso antes, en 2030, porque como vemos, si no desarrollamos sistemas para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, el mundo tendrá un grave problema más que intensificará el problema, que a mi parecer, es el más importante, las reservas petroleras y como consecuencia también de gas natural, que seguramente disminuirán. Con nuestra dependencia energética fósil ocuparemos cada vez más carbón, que tenemos en más abundancia que no está mal siempre y cuando se desarrollen los sistemas de eliminación de CO<sub>2</sub>, pero así el aumento en la demanda de carbón puede ocasionar que las reservas nos duren poco más de 50 años después de que veamos la crisis petrolera. Al igual que pasa con el petróleo, el carbón podría tener un EROI menor, es decir que tengamos que invertir más energía para obtener menos, aunque cabe destacar que el EROI del carbón se mantuvo en 1:80 de 1950 al 2000.

Aquí vemos evidente porqué, a pesar de los problemas climáticos que causa el uso del carbón, sigue siendo parte importante de nuestra matriz energética mundial. Primero es un recurso de más fácil obtención que el petróleo o el gas natural, lo que ocasiona que sus



Gráfica 28. Reservas de Carbón. Fuente: BP. Elaboración propia.

costos de extracción sean menores y que las economías en desarrollo puedan desarrollarse sin la necesidad de ser completamente dependientes de recursos más costosos económicamente. Segundo, las reservas energéticas de carbón son prácticamente tres veces mayores a las de petróleo o gas natural que veremos más adelante, lo que significa que, las organizaciones verdes en contra del uso del carbón o Naciones Unidas no puedan hacer nada para disminuir el consumo mundial. Tercero, el carbón es esencial para los procesos industriales, procesos que no pueden ser cubiertos con energías renovables así que cada año, si las economías siguen creciendo, necesitaremos de más infraestructura y por consecuencia de más uso de carbón. Y cuarto, si continuamos en el futuro siendo

irracionales con el consumo energético como lo hemos sido hasta ahora, pronto tendremos graves problemas porque, aunque tengamos de cierta manera carbón en abundancia, los problemas de una crisis energética mundial podrían ser devastadores para nuestra sociedad.

Ahora bien, no existe una solución única ante la crisis energética para crear un modelo de desarrollo sostenible y cumplir con los objetivos internacionales de desarrollo sostenible, ya que se debe garantizar primero que todo, incluso antes que el crecimiento económico, la seguridad energética y el acceso a la energía que es primordial en nuestro desarrollo porque la reducción de emisiones es un problema urgente en la actualidad pero sin energía el mundo como lo conocemos no funciona y menos ahora que somos más de 7,700 millones de personas que dependemos de ella. Es un problema grave y aquí se intenta llegar a un modelo realista para el desarrollo de todas las naciones, pero sin comprometer a las generaciones futuras, ya que si seguimos actuando como hasta ahora serán, los que vivan después de 2050 los que paguen el precio de nuestra incapacidad para afrontar los problemas presentes.

El caso especial de los países en desarrollo de Asia Pacífico en específico China merece un análisis más detallado en esta sección que se habla de carbón. Como ya se dijo anteriormente, China es por mucho el mayor consumidor de carbón, ya que consume el 51% del total a nivel mundial y como consecuencia es el país que más emite gases de efecto invernadero, aquí es importante saber lo que está sucediendo en ese país y todos los factores que intervienen.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de China en el periodo de 2000 a 2018 prácticamente se triplicaron, aunque también fue la economía que más creció, ahora representa aproximadamente el 30% de las emisiones, y aunque parezca paradójico, también es el líder mundial en la producción de celdas fotovoltaicas, termo solares, aerogeneradores e incluso autos eléctricos. China es ahora el mercado de carbón más grande y también el mercado de energías renovables más grande del mundo.

Con la premisa del gobierno Chino de que todavía enfrentan desafíos de desarrollar su economía para mejorar la vida de sus habitantes, China, que a pesar de haber ratificado, parece no importarles el acuerdo de París, ya que no dieron señales de compromiso en la COP25 de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en Madrid, España, del 3 al 15 de diciembre de 2019 que, tras varios intentos de negociación, los resultados demostraron que no existe un compromiso internacional, ya que cada país vela por sus intereses propios y existe una desconexión entre los gobiernos y la comunidad científica respecto a la urgencia de actuar ante la crisis climática.

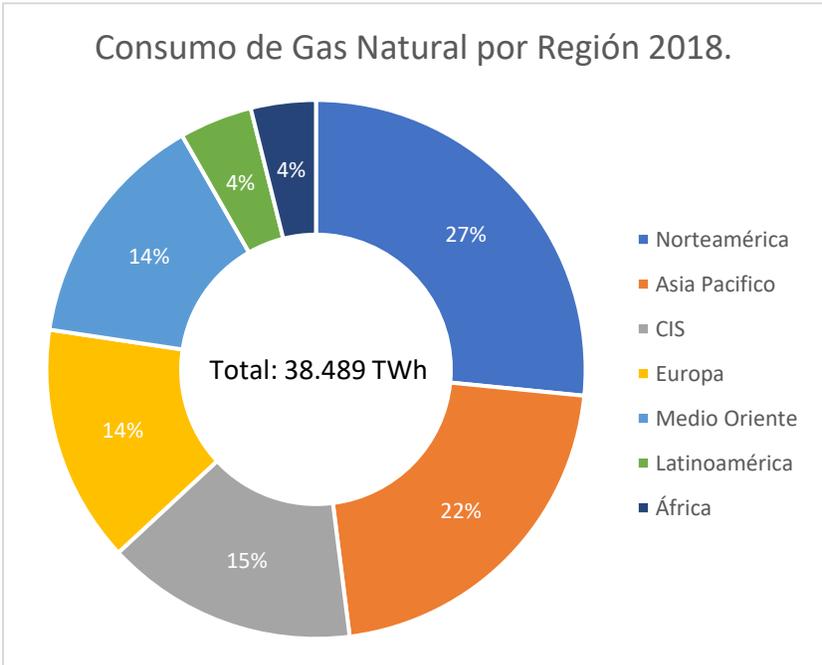
A nivel internacional es complicado lograr acuerdos y compromisos, es más sencillo ver a China como el gran villano de la historia del cambio climático. Sin embargo, pocas veces nos ponemos a pensar qué tan dependientes somos de este país, ya que el comercio

internacional juega un papel muy importante en la actualidad, porque empresas de todo el mundo fabrican sus productos en China y después estos productos son exportados al resto del mundo, o si vemos el caso contrario millones de productos son importados en China, y así las economías de los países desarrollados pueden seguir creciendo, ya que muchas empresas, especialmente Europeas, dependen en gran medida del mercado chino.

Para crear un Modelo Energético para un Desarrollo Sostenible debemos revisar todos estos factores que, a simple vista, no se ven o nos son promocionados. El mundo que nos tocó vivir es un mundo interconectado no solo digitalmente, sino económica y energéticamente. Se podría decir que todos dependemos de todos, y es con el compromiso de todos como podemos darles solución a los problemas, y no me refiero a los problemas del cambio climático, sino a los problemas que una crisis energética puede causar para la sociedad entera, porque no se puede tan solo imaginar una vida sin recursos los energéticos, con los que en la actualidad disponemos y que las perspectivas nos dicen que aumentarán en los próximos años.

### 2.2.3 Gas Natural

El gas natural es el combustible fósil de combustión más limpia y proporciona una serie de beneficios ambientales, ya que emiten menos gases de efecto invernadero en comparación con el carbón. El gas natural es el combustible fósil de más rápido crecimiento en los últimos años 50 años, porque en el periodo de 1965 a 2018, el consumo creció de 6,306 TWh a 38,489 TWh, lo que equivale a que el consumo se haya multiplicado por 6 en los últimos 53 años. Cabe destacar que en 2018 tuvo un aumento del 4.6% en su consumo, que representa casi la mitad del aumento en la demanda mundial de energía; sin embargo, este crecimiento



Gráfica 29. Consumo de gas Natural por Región. Fuente: BP. Elaboración propia.

se ha concentrado en tres regiones clave; la primera es Estados Unidos, donde la revolución del gas de esquisto está en pleno apogeo debido al desarrollo del fracking; la segunda región es China, donde debido a su crecimiento económico y sus respectivas preocupaciones por la calidad del aire, han apuntado al aumento de la demanda; y la tercera región es Medio Oriente, donde el gas natural es una puerta de entrada a la diversificación económica del petróleo y así puedan disminuir su dependencia casi permanente de este hidrocarburo.

En 2019 el consumo de gas natural representó el 22% del consumo energético primario mundial y el 23% de la generación de energía eléctrica mundial. El mayor productor y consumidor de gas natural es Estados Unidos.<sup>52</sup> Consumiendo en 2018 cerca de 8,171 TWh, lo que representa el 21% del total mundial, seguido por Rusia, el segundo productor y consumidor de gas natural, que en el mismo año consumió 4,545 TWh, lo equivalente al 12% del consumo total. La región de Asia Pacífico ha incrementado su consumo en 2.8 veces en el periodo de 2000 a 2018, siendo una región de rápido crecimiento y representando en 2018 el 22% del consumo mundial de gas natural. También es destacable ver que la región de Medio Oriente multiplicó por 3 en el mismo periodo su consumo, convirtiéndose así en la región de más alto crecimiento, consumiendo en 2018 el 14.3% del gas natural; este incremento se debió a la necesidad de diversificar su matriz energética.

Conocer las reservas energéticas de gas natural es de suma importancia por dos factores, el primero es porque ha sido el combustible con el mayor desarrollo en los últimos años y el segundo porque es el combustible que emite menos gases de efecto invernadero y puede suplir con facilidad al carbón. El top tres de los países con mayores reservas de gas natural tienen prácticamente la mitad de este recurso; Rusia, a la cabeza, tiene 38.9 millones de millones de metros cúbicos ( $Tm^3$ ) de gas natural, que equivale a tener el 20%, seguida por Irán con 31.9  $Tm^3$ , representando el 16%, y en tercer lugar Qatar, con 24.7  $Tm^3$ , representando el 13%. Juntos estos tres países representan el 49% del total de las reservas, haciendo nuevamente evidente que los recursos se centran en ciertos países, ocasionando que otros países, incluso regiones enteras, sean dependientes de los cambios económicos y geopolíticos de los países productores de hidrocarburos.

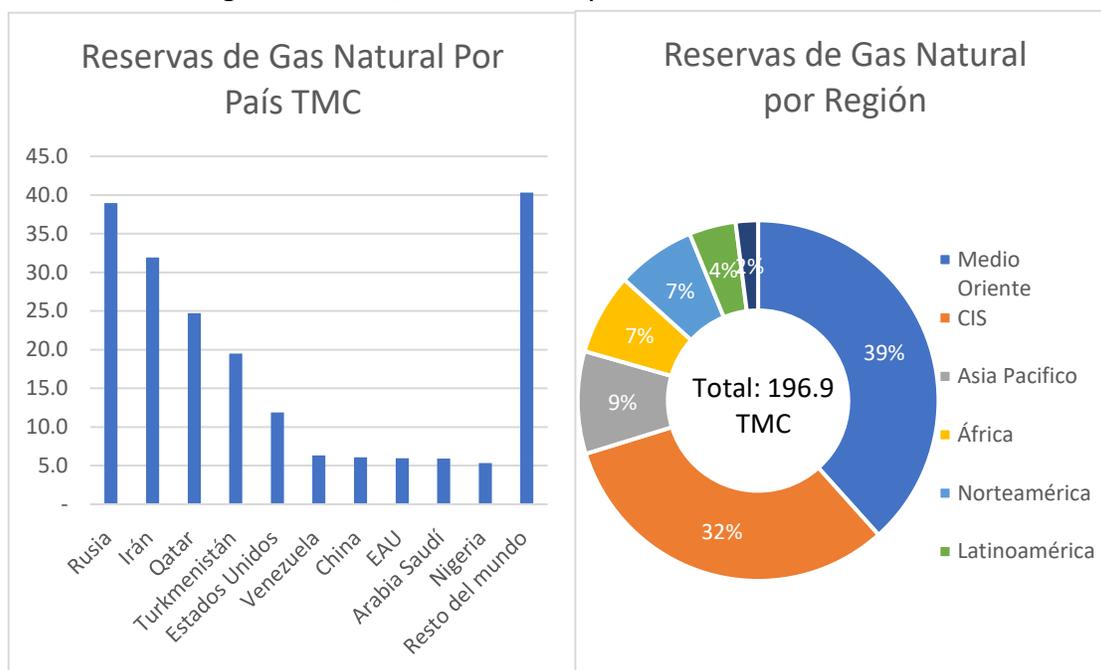
De acuerdo con la revisión estadística de la energía mundial de British Petroleum de 2019, la relación de reservas y producción R/P es de tan solo 51 años, es decir, al ritmo que se está produciendo gas natural en la actualidad y con las reservas que contamos, en 2070 nos quedaremos prácticamente sin gas natural. También es importante considerar que al igual que el petróleo, el gas natural que se obtiene al principio es de mejor calidad y menos costo de producción, así como un EROI mayor, y conforme se supera el pico de producción los recursos son más costosos, de menor calidad y con un EROI cada vez menor. Si consideramos el aumento en la demanda que ha tenido el gas natural y la dependencia que la implementación de las fuentes de energías renovables tiene ante este hidrocarburo, se podría decir que en los próximos años continuará creciendo, ocasionando que el gas natural

---

<sup>52</sup> BP Statistical Review of Global Energy. 2019.

dure menos de 50 años, lo que hace pensar en qué haremos cuando ya no tengamos recursos fósiles.

El gas natural para un sistema energético de bajo carbono es necesario, porque puede servir como puente durante la fase de transición y su importancia puede aumentar considerablemente, junto con el incremento de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables como la solar y la eólica, que se analiza en la sección del potencial de las fuentes de energía renovable, su desarrollo y sus limitantes.



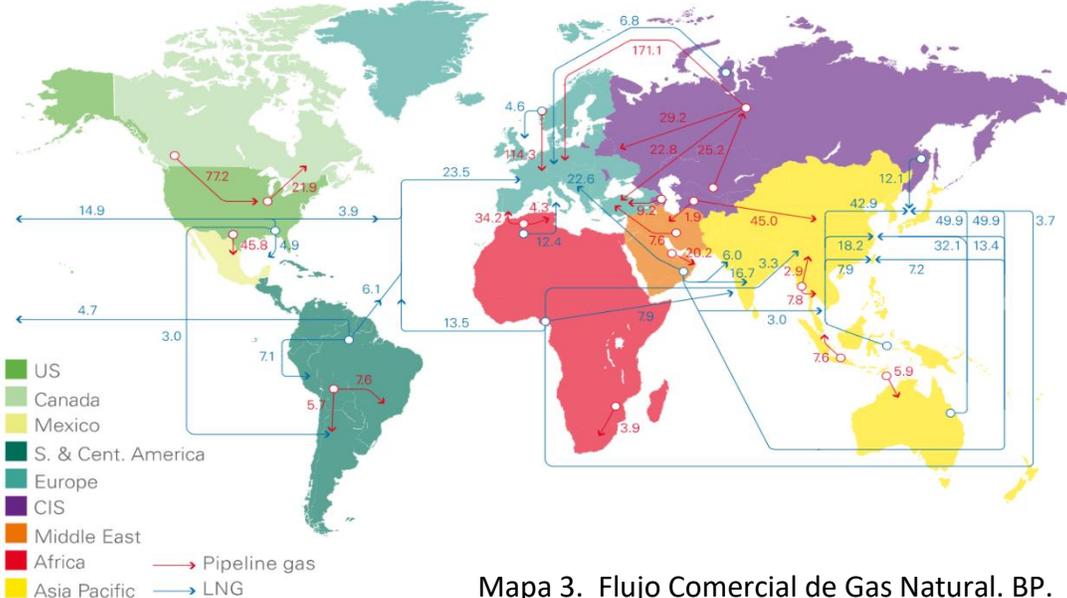
Gráfica 30. Reservas de gas Natural por País y por Región.

El flujo comercial de gas natural se muestra en el mapa. El papel que juegan los países productores de gas es muy interesante y para ejemplo analizaremos el caso de Europa, que es una región de importación neta de gas natural, y es evidente ver su dependencia energética, mayoritariamente de Rusia, la que exportó 245.9 miles de millones de metros cúbicos de gas natural en 2018, representando el 51.7% del total de las importaciones europeas de GNL y el otro 47.3% fue importado de Estados Unidos, Brasil, Nigeria, Argelia y Medio Oriente. El único país productor importante que tiene Europa es Noruega, que en 2018 exportó a Europa 119.1 miles de millones de metros cúbicos de gas natural. Si en algún momento Rusia quisiera cerrar la llave y dejar de suministrar de gas natural a Europa, lo podría hacer, ocasionando graves problemas en la matriz energética europea y una severa crisis económica, energética y política. sin embargo, esto significaría perder el 54% de los ingresos por exportación que tiene Rusia y tendría que buscar cómo financiar el 47% de su presupuesto federal.<sup>53</sup>

<sup>53</sup> BBC Mundo ¿Puede Europa vivir sin el gas ruso? 2014  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140327\\_europa\\_alternativas\\_gas\\_rusia\\_amv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140327_europa_alternativas_gas_rusia_amv)

La seguridad energética es importante para todos los países, en especial para los grandes consumidores como China, que se ha convertido en el primer socio comercial de Rusia. La mayoría de las exportaciones rusas a China son hidrocarburos y en la actualidad se están desarrollando proyectos estratégicos como el gasoducto Siberia Power, acordado en 2014, que a lo largo de 3,000 kilómetros el gasoducto suministrará 38 mil millones de metros cúbicos de gas natural al año a China, el cual permitirá asegurar su abastecimiento de energía en medio de una escasez de producción interna y las exigencias de su gran consumo. El aumento en el consumo de gas natural puede permitir a China disminuir su voraz consumo de carbón y podría así disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Con el desarrollo de este tipo de proyectos Rusia podría dejar de abastecer de gas natural a la comunidad europea cuando se lo propusiera, porque ya tiene un nuevo gran socio comercial, que es la segunda economía mundial, destacando que el área de Asia Pacífico es la región que seguirá aumentando su demanda; posiblemente Rusia podría ser la responsable de cubrir parte de esa demanda debido a sus vastas reservas energéticas.

Europa tiene un panorama energético complicado, porque cada vez que se habla de esta región, se habla de dependencia energética tanto de petróleo, carbón y gas natural. Como todos los países desarrollados que la conforman están preocupados por su seguridad energética, cada uno de ellos tiene que cubrir sus necesidades, las que pueden ser cubiertas por carbón, como es el caso de Polonia o Alemania, o por energía nuclear, como es el caso de Francia. En general toda Europa podría ser la región que tenga más problemas cuando comience una crisis energética mundial. Sin embargo, Europa es la región donde más se promueve la generación de energía a través de fuentes renovables y como se dijo en la sección de carbón, tal vez esta promoción no sea tanto por la preocupación del cambio climático, sino por querer cambiar un poco su dependencia energética y la necesidad de



diversificar su matriz energética y así prepararse para el sombrío panorama que les espera a los hidrocarburos y al desarrollo energético mundial.

Pese a la gran promoción de fuentes de energía renovables, Europa depende y seguirá dependiendo de las importaciones, y en este caso especial de las medidas comerciales que las grandes economías como Rusia, China y Estados Unidos pongan en marcha. Un ejemplo son las sanciones en contra del gasoducto que conectará a Rusia con Alemania, donde Donald Trump ordenó que cualquier empresa que colabore en la construcción del gasoducto Nord Stream 2 será sancionado por Estados Unidos, gasoducto que tendrá la capacidad de transporte de 55 mil millones de metros cúbicos de gas al año. La intervención de Estados Unidos en asuntos extraterritoriales está en muchas partes del mundo, prácticamente esa ha sido su estrategia para lograr que países hagan lo que más los benefician a ellos, y se ha visto más esta intervención en medio oriente, gracias a sus vastas reservas energéticas. Estados Unidos ha llegado a convertirse en el principal productor de gas natural debido al desarrollo de la tecnología del fracking y el acceso a los recursos de petróleo y en este caso especial de shale gas que le otorgan una renovada influencia mundial.

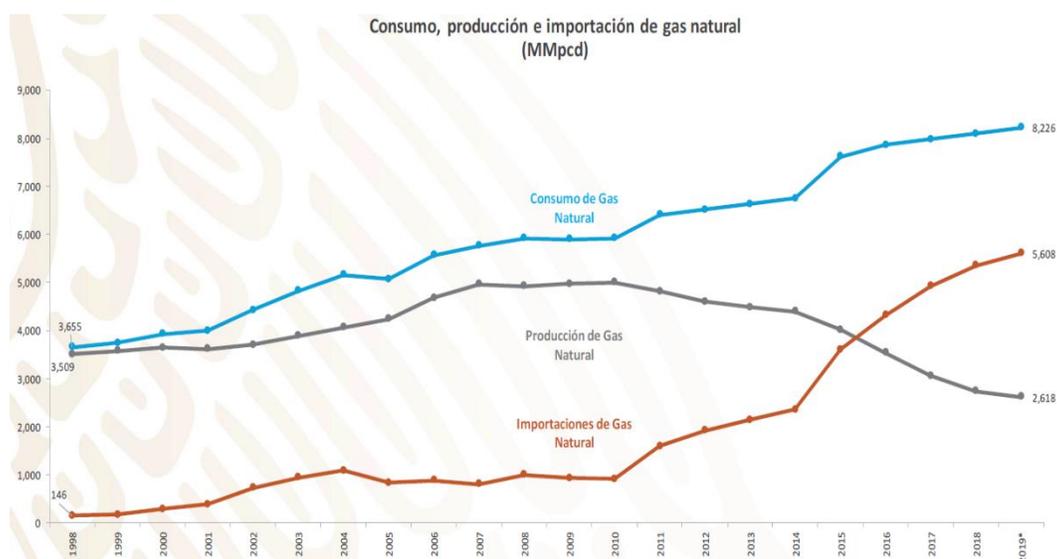
El caso de la dependencia energética de gas natural de México es aún más drástico que el de Europa, porque México es el país que depende en mayor proporción de gas, de un solo país que es Estados Unidos de donde proviene el 68% de la oferta nacional total. Esta dependencia ha aumentado como consecuencia de una baja en la producción nacional de gas natural. En 2009 se tuvo una producción diaria de 4 mil millones de pies cúbicos, a diferencia de 2019 donde fue casi de la mitad, es decir, 2,578 millones de pies cúbicos diarios, en el mes de marzo de 2019.<sup>54</sup> Esta disminución en la producción de gas natural se debe a la baja en las actividades de Petróleos Mexicanos, debido a que se ha dejado de apostar por la producción, porque el gas natural no es rentable en México ya que no puede competir con el precio internacional y es más conveniente importarlo de Estados Unidos. Estas importaciones han permitido compensar la disminución de la producción nacional, que ha visto pronunciados cambios a partir de 1998, cuando prácticamente todo el gas natural que consumíamos se producía en México. Los siguientes doce años fueron de aumento en la producción hasta llegar al pico de producción en 2010. Las importaciones de gas natural durante el mismo periodo se incrementaron paulatinamente, ya que el consumo energético del país era cada vez mayor.

Después de superar el pico de producción, cuando cae significativamente la producción de gas natural y con la demanda energética que tenía el país, la solución que se dio para satisfacer nuestro consumo, fue incrementar las importaciones de Estados Unidos, que para esos años comenzaba a ver resultados satisfactorios en el incremento de producción de shale gas y para 2015 las importaciones superaron la producción nacional, convirtiéndonos cada vez más dependientes del gas estadounidense y llegando en 2019 a importar más de

---

<sup>54</sup> Prontuario Estadístico. Secretaría de Energía. 2019.

dos tercios de nuestro consumo. Ser dependientes en tan altos porcentajes es un grave problema para el país, porque como sucede con el caso de Rusia y Europa, aquí Estados Unidos puede sin problemas y cuando quiera disminuir su exportación hacia México, ocasionando severos problemas en la red eléctrica nacional, ya que el 52.1% del total del gas natural va directamente al sector eléctrico, provocando una crisis en los sectores industrial y residencial. Disminuir el porcentaje de las exportaciones debería ser una medida a implementar de inmediato del Gobierno de México.



Gráfica 31. Consumo, Producción e Importación de Gas Natural México. SENER.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía y su informe especial del World Energy Outlook de 2011, nos dice que el gas no convencional más abundante en el mundo es el shale gas, siendo la región de América del Norte la que cuenta con más recursos, que equivale a 2.5 veces sus reservas convencionales de gas natural. El total de los recursos técnicamente recuperables de shale gas en el mundo se estimó que eran  $187.6 Tm^3$ , prácticamente igual a las reservas probadas mundiales de gas natural de ese mismo año.

De acuerdo con la estimación inicial del informe de la IEA, México ocupa el cuarto lugar entre los principales países que cuentan con los mayores recursos de shale gas, que eran aproximadamente  $19.28 Tm^3$ , lo que equivaldría al 10.3% de los recursos no convencionales de shale gas en el mundo, y que es casi 100 veces mayor a las reservas probadas que México tiene de gas convencional en 2020.

La exploración y abundancia del gas no convencional, específicamente el shale gas, presenta grandes expectativas para el futuro energético, tanto nacional como mundial. Su cuantificación como reservas probadas podrá cambiar la estructura de producción y consumo de gas natural en el mundo, ya que las reservas de gas convencional de 2018 solo durarán 50 años, pero se prevé que el consumo mundial de gas natural continúe aumentando, dando como consecuencia que las reservas duren aún menos tiempo. En la actualidad, el fracking y la extracción de shale gas causan graves daños ambientales e

implica grandes consumos de agua, la contaminación de acuíferos y la emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, todos esos problemas deben ser disminuidos conforme se desarrolle cada vez más esta tecnología en el mundo, porque el gas natural será un pilar importante en el futuro energético mundial si se quiere disminuir el uso del carbón y aumentar el uso de las fuentes de energía renovable. El desarrollo en todo el mundo de los recursos no convencionales parece ser inminente, porque de algún lugar deberemos obtener los recursos energéticos que esta sociedad necesita consumir diariamente.

Aquí es necesario recalcar que la energía obtenida de cada recurso cambia respecto a los años de madurez que se tenga, recordando que la tasa de retorno energético va a disminuir drásticamente en los próximos años, porque así como Estados Unidos ha aumentado su producción de gas no convencional, también es probable que se llegue rápidamente a su pico de producción, dando como consecuencia el declive de la producción y poniendo a prueba la capacidad del ser humano para crear soluciones a los problemas energéticos mundiales sin los recursos energéticos actuales, ya que el futuro será complicado si no cambiamos nuestro nivel de conciencia en el consumo energético actual. También cabe destacar que el desarrollo de la explotación a gran escala de shale gas en Estados Unidos, es consecuencia de una serie de factores técnicos, económicos e institucionales que tuvieron lugar en un contexto específico que solo se da en Estados Unidos y que dificultará la explotación de shale gas en otros lados del mundo.

Los factores técnicos que permitieron el desarrollo de la explotación de shale gas fueron cuatro principalmente; el primero fue que los yacimientos de gas de lutitas reúnen ciertas características geológicas favorables que no necesariamente se dan en otros países; el segundo es la disposición de estudios que muestran la ubicación de los recursos, identificando los que pueden ser realmente productivos; el tercer factor es la existencia de una adecuada infraestructura de transporte desde los yacimientos hasta los centros de consumo; y el cuarto es la disponibilidad de agua que es esencial para mantener abierta la fractura y que el gas fluya en la roca. Además, agregar que los factores económicos se dieron gracias a que la industria del gas en Estados Unidos se desarrolla en entornos competitivos con regulaciones sencillas que han configurado una industria flexible, permitiendo que el shale gas tuviera crecimiento comercial a gran escala. Por último, los factores institucionales son que los programas gubernamentales de impulso directo a la investigación y comercialización, distribución de costos y riesgos en asociaciones público-privadas y la desregulación del mercado.<sup>55</sup>

#### 2.2.4 Nuclear

La prioridad de la sociedad moderna es generar riqueza económica para poder enfrentar los problemas de nuestra sociedad cada vez más compleja, sin darse cuenta de que ese crecimiento económico ha sido desproporcional en todo el mundo. Ese beneficio ha sido

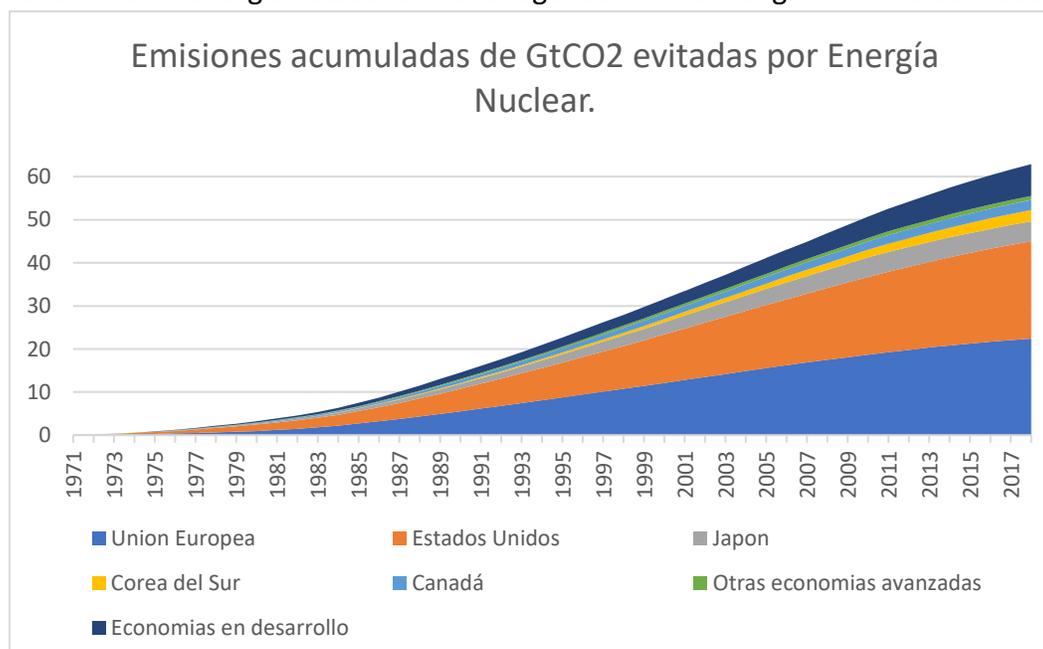
---

<sup>55</sup> Vega Ángel. Ramírez Jaime. El Gas de Lutitas (Shale Gas) en México. Recursos, explotación, usos, impactos.

para la menor parte de las naciones y ha llevado a la sobreexplotación de los recursos de la Tierra, generando el desarrollo insostenible de la sociedad que se ha basado en los recursos no renovables para crear el mundo que ahora conocemos. La electricidad se ha convertido en el soporte para el funcionamiento de toda la sociedad, ya que se utiliza intensivamente en la producción, el transporte, la ciencia, la educación, la comunicación y en general en la vida cotidiana. La electricidad está en plena expansión a pesar de que en los últimos 30 años el fenómeno del cambio climático ocasionado por la emisión de gases de efecto invernadero se ha convertido en un tema de estudio científico, y ahora se discute como una problemática política a nivel internacional; el desarrollo de las naciones depende de la generación energética que será determinante en los próximos años.

La ruta tecnológica es la principal solución que la sociedad ha tomado como respuesta a la problemática relacionada con el cambio climático y la crisis energética. La energía nuclear forma parte importante de la generación de electricidad de bajo carbono y en los últimos 50 años, el uso de energía nuclear ha reducido más de 60 GTeCO<sub>2</sub> que de acuerdo con a IEA son casi dos años de emisiones globales relacionadas con la energía. Sin embargo, la emisión de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía alcanzaron récord en 2018, como consecuencia del crecimiento en la demanda de electricidad que se generó en su mayoría con fuentes fósiles, es decir, carbón y gas natural.<sup>56</sup>

En abril de 2019 había 442 reactores operando, que proporcionaban 2724 TWh de energía eléctrica, lo que representa cerca del 11% del suministro mundial de electricidad, de acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica de Naciones Unidas, colocándose así la energía nuclear como la segunda fuente más grande de electricidad baja

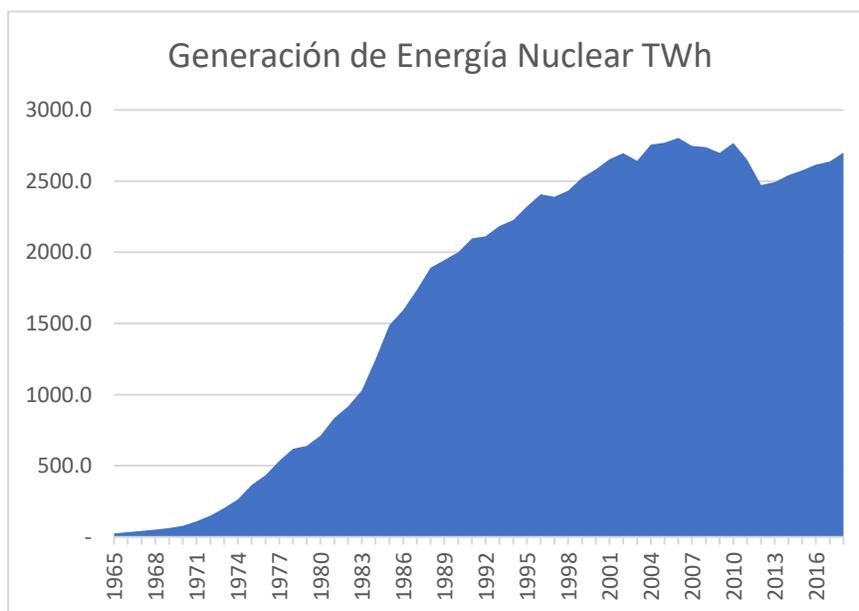


Gráfica 32. Emisiones Acumuladas de CtCO<sub>2</sub> evitadas por Energía Nuclear. Fuente IEA

<sup>56</sup> IEA Cumulative CO<sub>2</sub> emissions avoided by global nuclear power.

en carbono. En las economías avanzadas ha sido la mayor fuente de electricidad baja en carbono, proporcionando 18% de suministro en 2018, sin embargo, la flota nuclear en los países desarrollados tiene en promedio 35 años de operación y muchas de esas plantas nucleares están llegando al final de su vida útil diseñada. Dada esta antigüedad y por cuestiones también políticas, sociales y de seguridad, como es el caso de Alemania y Japón, se espera que para 2025 la capacidad nuclear disminuya un 25%. Por el lado de las economías en desarrollo, particularmente China, que es el país que ocupa el tercer lugar en la generación nuclear solo por detrás de Estados Unidos y Francia, representa el 11% del total mundial. Se espera que su flota nuclear aumente en las próximas décadas, pero incluso así se prevé que se podrían generar 4 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> adicionales debido a la ausencia de nuevas extensiones de centrales nucleares y nuevos proyectos.

La primera central nuclear de la historia se construyó en Rusia, situada en Obninsk, muy cerca de Moscú, y comenzó a operar el 26 de Julio de 1954 y finalizó su actividad en 2002. A partir de la década de los 60s, los países que se preocuparon por desarrollar una diversificación energética como Estados Unidos y la antigua Unión Soviética; empezaron a construir reactores nucleares de gran capacidad y como consecuencia del aumento de la demanda de energía eléctrica, la energía nuclear fue bien aceptada. En 1968 se concretó el tratado de No Proliferación Nuclear que limitaba la posesión de armas nucleares y permitía la construcción de centrales nucleares.



Gráfica 33. Generación de energía Nuclear. Fuente: BP.

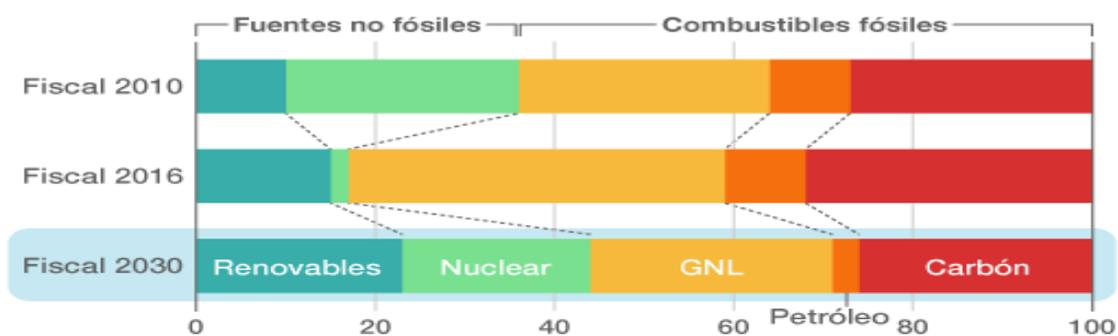
El 26 de abril de 1986 tuvo lugar el accidente del reactor nuclear de la unidad 4 de Chernóbil, en lo que ahora es Ucrania. Este accidente fue ocasionado por una serie de accidentes de operación cuando el reactor se preparaba para una prueba para determinar en cuánto tiempo girarían las turbinas y se suministraría energía a las bombas de circulación después de una pérdida de suministro de energía eléctrica principal. Este accidente causó la mayor liberación radioactiva incontrolada al medio ambiente registrada y grandes cantidades de

sustancias radioactivas fueron liberadas durante unos 10 días. Ocasionando graves problemas políticos y sociales, siendo un factor importante del decaimiento de la URRS que cinco años más tarde se colapsaría.

En 1989 existían 420 reactores nucleares en operación en todo el mundo y en 2019 habían 442, y su participación en la generación de energía eléctrica fue del 10.8% a pesar del accidente en Chernóbil. Pese a todos sus inconvenientes, la generación nuclear siguió creciendo hasta la crisis económica de 2008, cuando se vio una ligera disminución en la producción, tres años después, en 2011, tras el accidente nuclear de Fukushima ocasionado por un tsunami de 15 metros que deshabilitó el suministro de energía y enfriamiento de tres reactores de la unidad operativa Fukushima Daiichi, la producción de energía nuclear cayó drásticamente, y se cuestionó en países como Alemania si era seguro seguir utilizando este tipo de energía para la sociedad. En marzo de 2011, antes del accidente nuclear, había en Japón 54 reactores nucleares en funcionamiento que suministraban aproximadamente el 30% de la energía eléctrica del país. En julio de 2013 el gobierno de Japón estableció una nueva normativa para las centrales nucleares, que deberían cumplir normas de seguridad más estrictas, lo que implicó el aumento en el costo para implementar las contramedidas de seguridad necesarias. Para julio de 2018 solo había 5 centrales nucleares en funcionamiento, con un total de 9 reactores nucleares que cumplían con la nueva normativa; todos son reactores de agua a presión, además hay 6 reactores que cumplen con la nueva normativa pero que no están en funcionamiento y 3 más que están en construcción. Existen 22 que están preparadas para ser desmanteladas.

Sin embargo, de acuerdo con el V plan estratégico de energía adoptado por el Gobierno japonés en julio de 2018, el objetivo es que la participación de la energía nuclear se incremente nuevamente y represente entre un 20% y 22% de la matriz energética eléctrica para 2030.<sup>57</sup> Para lograrlo se necesita mantener activos 30 reactores en funcionamiento, panorama que se ve complicado, pero lo importante es que incluso Japón podría recurrir

### Fuentes de energía eléctrica para 2010, 2016 y 2030



Gráfica 34. Fuentes de Energía Eléctrica en Japón. Nippon.com.

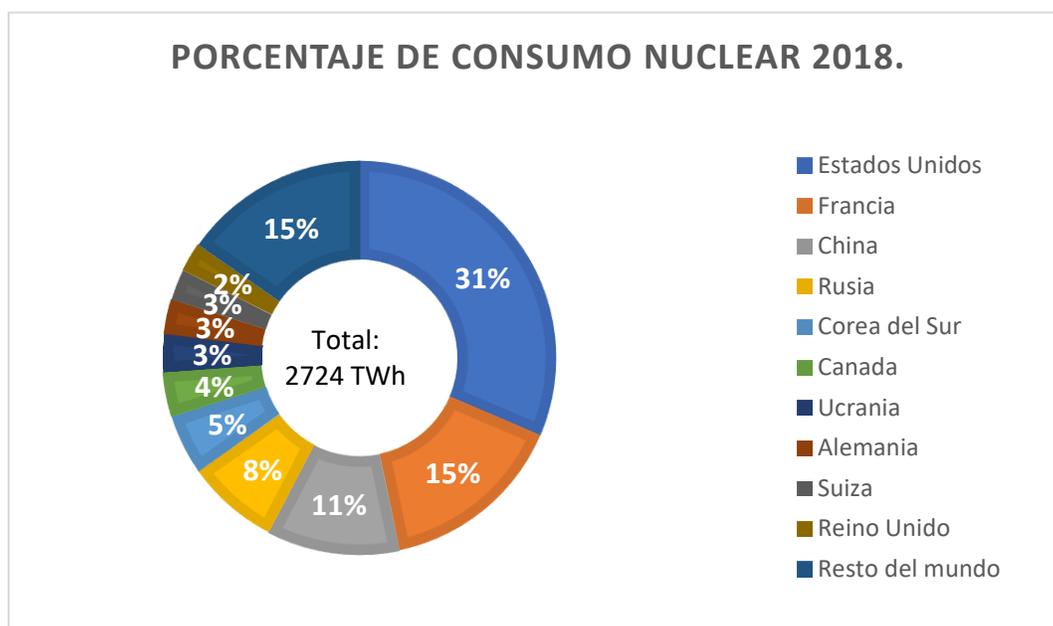
<sup>57</sup> Japón continúa con su estrategia dilatoria en materia energética, Nippon.com 2018.

nuevamente a la energía nuclear como parte importante de su matriz energética. Será importante lo que pase en Japón en los próximos diez años.

El 30 de diciembre de 2019 Alemania cerró la planta nuclear de Philippsburg y ahora son solo siete las centrales nucleares que continúan operando, y ha fijado como objetivo abandonar totalmente la energía nuclear para 2022, elaborando e implementando un plan de transición energética que busca reemplazar los combustibles fósiles y nucleares por fuentes renovables de energía. Planea para 2038 abandonar el carbón, con su programa Energiewende, sin embargo, ha sido complicado el proceso y se analizan los resultados en la sección de fuentes renovables de energía, pero lo destacable en este momento es que Alemania dejará de utilizar energía nuclear como consecuencia de la presión social tras el accidente nuclear en Japón.

Ahora veamos el caso de Francia, que en 1974 el gobierno francés tomó la decisión de ampliar la capacidad de producción de energía nuclear, justo después de la primera crisis del petróleo. Como resultado de la política energética implementada, Francia tiene actualmente una importante independencia energética, siendo el segundo país con mayor cantidad de generación nuclear, representando el 15% mundial solo después de Estados Unidos, pero la primera por densidad poblacional, en la actualidad están operando 19 centrales nucleares, con un total de 59 reactores generando 93.5 TWh en 2018. Cuenta con un nivel muy bajo de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita por generación de energía eléctrica, ya que la energía nuclear produce poco más del 70% de su electricidad, la mayor proporción de cualquier nación en el mundo y otro 20% es hidroeléctrica.

Sin embargo, el gobierno francés votó por reducir el porcentaje de energía nuclear en el suministro de energía eléctrica del país al 50% para 2025, que después se cambió para 2035.



Gráfica 35. Porcentaje de Consumo de energía Nuclear.

La industria nuclear ha tenido problemas a nivel mundial por las preocupaciones de seguridad, provocadas por la creciente competencia del gas natural, la creciente popularidad de las fuentes de energía renovable y el accidente nuclear en Japón. Para 2030 Francia tiene la intención de cerrar 15 de sus reactores más antiguos, pero está en planes de construir seis nuevos reactores nucleares y Francia está comprometida a convertirse en un país neutro en emisiones de carbono para 2050.

También en Francia se está investigando y desarrollando la tercera generación de energía nuclear por fusión mediante el proyecto ITER, "International Thermonuclear Experimental Reactor", que es uno de los proyectos energéticos más ambiciosos del mundo, financiados por un consorcio internacional formado por la Unión Europea, Rusia, China, Japón, Estados Unidos, Corea del Sur e India. Este tipo de generador nuclear será mucho más seguro, que los de fisión, habrá menos residuos nucleares, y producirá tres veces más energía. Este proyecto experimental es de crucial importancia para el avance de la fusión nuclear y para preparar el camino para las centrales comerciales de fusión. ITER será el primer dispositivo de fusión que conseguirá ganancias netas de energía, es decir, que se produce más energía que la absorbida por el funcionamiento del sistema, así como el primer dispositivo que mantendrá la fusión durante largos periodos de tiempo. El factor más importante es que será el primero en poner a prueba las tecnologías integradas, materiales y física necesarios para la producción comercial de electricidad por fusión.

Este interés en la fusión radica en la posibilidad también de utilizar el deuterio que existe en el agua en proporción de 0.015% del hidrógeno, ya que un litro de agua de mar equivaldría a 200 litros de petróleo, de modo que el mar nos podría suministrar energía para 30 mil millones de años al ritmo de consumo actual.<sup>58</sup> Sin embargo, falta mucho para que lleguemos a este nivel tecnológico, ya que apenas estamos comenzando a investigar el uso de la fusión nuclear que da esperanzas para el futuro a largo plazo, pero si no damos soluciones a nivel mundial a corto plazo, será poco probable que podamos llegar a este tipo de tecnología avanzada en el futuro.

Los reactores nucleares de fisión utilizan el uranio como combustible, ya que en la tierra es abundante y no tiene otro uso. También se puede utilizar plutonio como combustible pero no se encuentra en la naturaleza y se obtiene al reciclar el combustible gastado de los reactores. También se puede utilizar torio, que es más abundante que el uranio, ya que todos los combustibles nucleares tienen la gran ventaja de tener una alta densidad energética.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía Atómica y la Agencia de Energía Nuclear en su reporte Uranio: recursos, producción y demanda de 2018, nos dice que el total de recursos recuperables de uranio en 2017 eran de 6,142,200 toneladas, que el consumo de uranio en las centrales nucleares en todo el mundo fue de 52,037 toneladas (OECD, 2018).

---

<sup>58</sup> Campos Leticia. El resurgimiento de la energía nuclear. México. 2009. Siglo XXI editores.

<sup>59</sup> Considera que las reservas de uranio identificado o convencional alcanzarán para 100 años más con el consumo actual. Sin embargo, si se consideran los reactores rápidos, que son productores de plutonio, los cuales se espera que sean comercializados después de 2030, entonces las reservas de uranio durarán para miles de años, y prácticamente serían inagotables. Esto se debe a que los reactores rápidos, producen más combustible del que gastan, ya que el reactor utiliza para su funcionamiento Uranio 235 que se rodea con una capa de Uranio 238, que al ser bombardeado se transforma en plutonio 239, que también es combustible nuclear. El desarrollo de estos reactores será de mucha importancia en el mediano plazo porque permitirá optimizar el uso de la energía nuclear.

El desarrollo de la energía nuclear será de gran importancia en el mediano y largo plazo, porque es una manera de generar energía limpia, su potencial energético es muy alto comparado con las fuentes de energía renovable y puede reducir gradualmente la dependencia de los combustibles fósiles. Otro factor importante es que las centrales nucleares son competitivas económicamente debido a su alta densidad energética; lo que incrementa sus costos son los elementos de seguridad necesarios para la operación, y a pesar de los altos costos de inversión, la planta nuclear tendrá una vida útil de 40 a 60 años, lo que resulta favorable para el costo total.

La energía nuclear se puede considerar como una fuente energética sostenible solo si se desarrollan los procesos tecnológicos de fusión y los reactores rápidos. En la actualidad ninguno de los dos está en el mercado, lo que hace difícil la consideración de que en la actualidad podría ser una fuente sostenible, porque pasará lo mismo que con los combustibles fósiles, las reservas son limitadas y en algún momento llegará a su pico de producción y cada vez será más complicado extraer los recursos.

Por último, cabe destacar que en la actualidad la energía nuclear se utiliza casi en su totalidad para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, tiene el potencial de aportar en otros sectores energéticos. Además, debemos pensar que el mundo que construimos tiene sus cimientos en los combustibles fósiles y si queremos dar un giro en la sostenibilidad debemos también dar un giro al sistema de consumo energético que tenemos, porque no toda la energía consumida es electricidad, ya que se necesita más que querer cambiar los sistemas como el transporte a eléctrico, que se basa casi 100% en energía fósil. Querer cambiarlos a eléctricos, no es para nada una solución, porque solo es pasar el problema de un lugar a otro. Debemos ser conscientes de que cada una de nuestras decisiones para la sostenibilidad energética tendrá repercusiones en el futuro, debemos saber qué acciones vamos a tomar para seguir teniendo el desarrollo de la sociedad a nivel internacional, y debemos mejorar la calidad de vida de cada una de las personas en el planeta.

---

<sup>59</sup> OECD. (2018). Uranium Resources, Production and Demand.

## 2.3 Potencial de las Fuentes de Energía Renovables en el Mundo, su Desarrollo y sus Limitantes.

La acción para reducir el impacto ante el cambio climático en 2020 es una necesidad crítica que toda la humanidad debe atender. En 2015, en el acuerdo de París se estableció el objetivo para limitar el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2 °C por encima de los niveles preindustriales, e incluso intentar limitar el aumento a 1.5 °C. Para lograr estos objetivos está la creciente necesidad de una transición energética baja en carbono y las fuentes de energía renovable. Junto con las ganancias de eficiencia energéticas y el ahorro en el consumo energético mundial, puede proporcionar hasta el 90% de las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> necesarias para 2050. Por lo tanto, las fuentes de energía renovable son un componente importante en las contribuciones determinadas a nivel nacional e internacional para el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

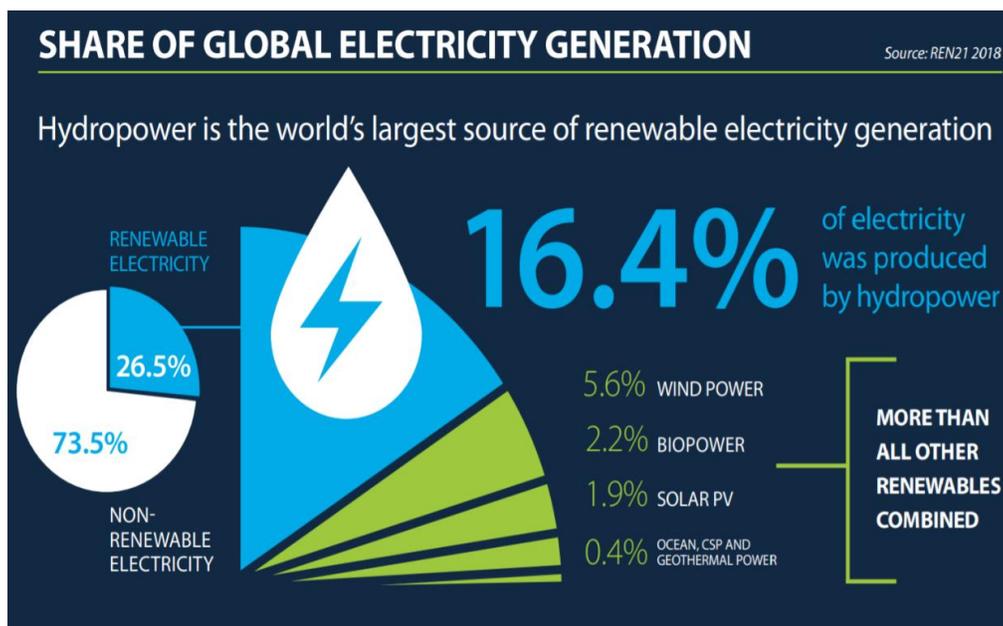
La transición energética es un tema del que se ha hablado durante los últimos 50 años, pero a pesar de esto, poco se ha realizado para llevarla a cabo con éxito. Apenas en 2007 la Unión Europea empezó esta transición energética, adoptando medidas sobre el clima y la energía, para 2020, donde se tenían los objetivos específicos para la expansión de las energías renovables, la protección del clima y la eficiencia energética. En esta sección justamente se analizará lo que se ha realizado en el desarrollo de las fuentes de energía renovables en los países donde más se han desarrollado, y que van a servir como modelo para las economías emergentes; también se explicará cuál es su potencial de crecimiento respecto a las limitantes que tiene este tipo de energía y como aportará en el modelo energético para un desarrollo sostenible, porque cabe recordar que el estudio principal es la crisis energética que puede existir en el futuro cercano, ocasionada por la falta de los recursos que en la actualidad obtenemos con cierta facilidad, y la energía renovable podría ser de ayuda para satisfacer nuestras necesidades energéticas en proporción de su desarrollo pero también de su potencial en los próximos años.

### 2.3.1 Energía Hidráulica.

La energía hidráulica es la principal fuente de generación de electricidad limpia en el mundo y es un facilitador de otras fuentes de energía renovable, ya que nos da energía limpia, asequible y confiable, evitando contaminantes y emisiones de gases de efecto invernadero, habilitando también a la energía solar y eólica y mejorando la cooperación entre países. La energía hidroeléctrica se ha desarrollado por más de 140 años. En la década de 1880 se construyeron las primeras centrales hidroeléctricas en Estados Unidos y Gran Bretaña, y a partir de esos años se comenzó a desarrollar la tecnología y a ocupar las mejores presas, principalmente en los países que se desarrollaron a partir de la primera revolución industrial.

De acuerdo con la Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica se generaron 4,185 TWh de electricidad a partir de la energía hidroeléctrica en 2017, energía eléctrica suficiente

para una de cada siete personas en el mundo, es decir, aproximadamente para un millón de personas. Sin embargo, si la comparamos en el contexto energético primario mundial, la energía hidroeléctrica solo representa el 2.8% del total de la energía que se generó en 2017 y si solo hablamos de electricidad representó el 16.4%, colocándose en tercer lugar después del carbón y el gas natural. Y en la matriz renovable la energía hidráulica generó el 64% de la electricidad a partir de fuentes renovables.<sup>60</sup>



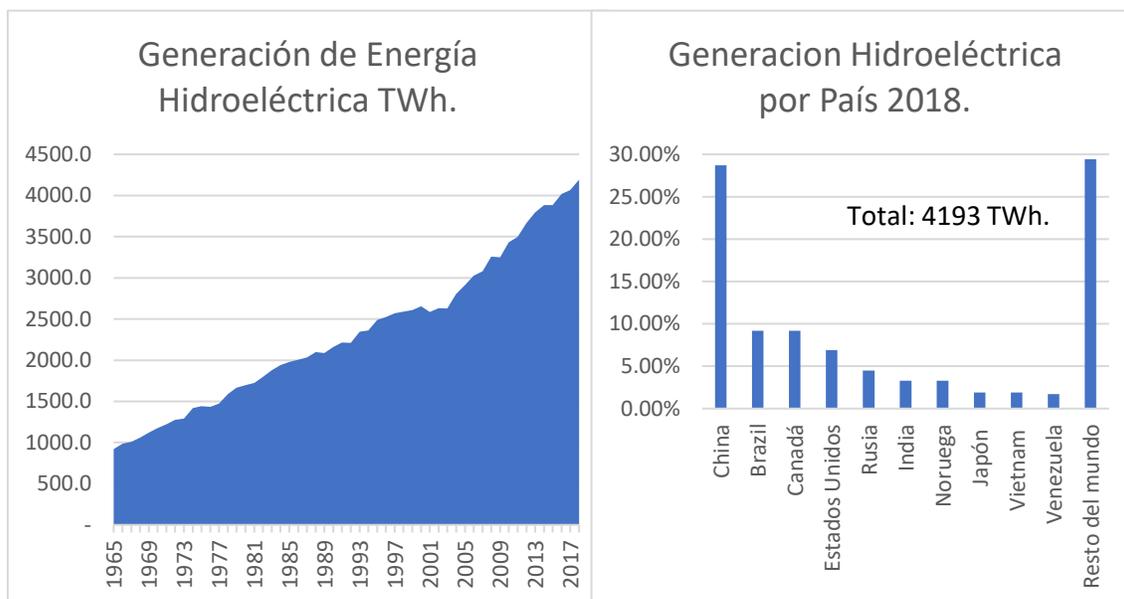
Gráfica 36. Porcentaje en la generación de electricidad. REN21 2018.

Se espera que la energía hidroeléctrica continúe siendo la mayor fuente mundial de generación de electricidad renovable y desempeñe un papel importante en la transición energética, ya que la energía hidroeléctrica es una tecnología madura que se ha desarrollado por más de un siglo y continúa evolucionando. Sin embargo, se continúa implementando ya que se pronostica que la capacidad hidroeléctrica aumente un 9% para 2024 es decir 121 GW de capacidad instalada. A pesar de este incremento, no es suficiente para alcanzar el nivel de generación energética del Escenario de Desarrollo Sostenible de la Agencia Internacional de Energía. En tal escenario será necesario producir para 2030 al menos 5,722 TWh, lo que requiere un crecimiento continuo en la nueva capacidad instalada en promedio de 2.5% anual hasta 2030, escenario que se ve complicado de cumplir, ya que las adiciones anuales han venido disminuyendo desde 2013, cuando las adiciones globales alcanzaron su punto máximo.

Las nuevas adiciones de capacidad energética hidroeléctrica continuarán disminuyendo, esto se debe a la desaceleración en los dos mercados más grandes del mundo en hidroelectricidad, que son China y Brasil, donde este crecimiento se ve desafiado por el aumento en el costo de inversión debido a que los sitios restantes para ser desarrollados

<sup>60</sup> REN21. Renewables 2018. Global Status Report.

son ya limitados, además de los gastos adicionales para abordar los impactos sociales y ambientales que conllevan las grandes represas y la controversia que se genera en torno a la misma.



Gráfica 37. Generación de Energía Hidroeléctrica.

Aunque la generación de energía, hidroeléctrica ha crecido el 68% del año 2000 a 2018, cuando solo se generaban 2654 TWh y 4206 TWh anual respectivamente, es incierto el crecimiento de esta energía porque además de los problemas que se acaban de mencionar en Brasil y China, la capacidad instalada en las mejores presas en los países desarrollados ya ha sido alcanzada. El crecimiento será prácticamente nulo en las regiones de Norteamérica y Europa, que es donde por más tiempo se ha desarrollado la hidroeléctrica. El caso especial de Europa es que no ha incrementado su generación hidroeléctrica en los últimos 20 años. Por su parte Estados Unidos y Canadá en 1997 alcanzaron su máximo histórico en la generación de electricidad a partir de plantas hidroeléctricas, generando 705 TWh, comparados con los 676 TWh generados en 2018.

El caso especial de China es que en el año 2000 generaba solamente 222 TWh de energía eléctrica con hidroeléctricas. En el lapso de 18 años multiplicó por 6 su generación, y para 2018 aumentó más de 1000 TWh, generando un total de 1204 TWh.

El incremento mundial en el mismo periodo fue de 1540 TWh. Esto quiere decir que China aportó el 65% del incremento mundial. El segundo lugar está el resto de Asia Pacífico con en 13.8%, seguido por Latinoamérica con el 11.5 % del incremento, sumando el 90.3% del incremento en la capacidad de generación por hidroeléctrica.

China, a pesar de ser el país que más gases de efecto invernadero emite, también es el país que más energía limpia genera a partir de fuentes renovables. Los dos factores han sido

resultado de su gran población y del gran desarrollo económico que han tenido en los últimos 20 años, y así poder mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

De acuerdo con el Programa Mundial de Evaluación de Agua de 2009, publicado por la UNESCO, se calculó que el potencial de la energía hidráulica mundial sería de aproximadamente 8500 TWh.<sup>61</sup> Si se pudieran ocupar prácticamente todas las presas hidrológicas, lo cual representaría casi el 33% de la generación de electricidad a nivel mundial si se compara con los 4,200 TWh generados en 2018, y se tendría un potencial de la capacidad de desarrollo de 4,300 TWh de energía que aún se puede aprovechar.

Sin embargo, como ya vimos en los casos de Europa y Norteamérica, se ha dejado aumentar la capacidad hidroeléctrica a pesar de que su desarrollo está en 65.5% y 60% respectivamente, es decir que aún tienen potencial para seguir con el desarrollo de plantas hidroeléctricas, pero se han detenido desde hace más de 20 años. Esto se ha dado por varios factores, entre ellos el aumento en el costo de inversión, los problemas medioambientales y la presión social, así como el incremento de la producción del gas natural, lo que hace que ya no sea viable el desarrollo de todo el potencial energético que ofrece el ciclo hidrológico del agua, ya que las presas de más fácil acceso ya han sido ocupadas en los países desarrollados.

El caso de China respecto al mismo estudio, y comparado con las cifras actuales, se tiene que ya ha desarrollado casi el 90% de su potencial hidroeléctrico; a diferencia de los países desarrollados, a China le ha convenido desarrollar presas logrando disminuir sus costos y dejando a un lado los impactos ambientales, como es el ejemplo de la presa Tres Gargantas, que tiene la mayor capacidad de energía y ha sido el mayor proyecto hidroeléctrico del mundo, con una potencia instalada de 22,500 MW, que significan aproximadamente 80.8 TWh y comenzó su operación en 2012, permite dar electricidad a 3% de la población china, esto es a más de 42.5 millones de personas, aunque ha tenido críticas debido a todos los impactos ambientales que ha causado. La disminución en la generación hidroeléctrica en China se debe a que ya han sido ocupadas la mayoría de las presas posibles.

Ahora bien, realmente es imposible construir todas las presas hidroeléctricas del planeta y que puedan generar 8500 TWh, que sería el promedio anual si se desarrolla el 100% del potencial hidroeléctrico. Se ve claramente en el caso de Europa, Norteamérica y China que no será posible. Si hacemos un promedio en el porcentaje de desarrollo en su potencial que hasta hoy se ha desarrollado en estas tres regiones, tenemos que se puede desarrollar hasta un máximo de 75%, lo que se traduce en que la generación máxima hidroeléctrica será de 6400 TWh aproximadamente, en el mejor de los casos, lo que podría representar prácticamente la cuarta parte de la generación eléctrica mundial, si la demanda no aumenta drásticamente.

---

<sup>61</sup> UNESCO. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP).

Los lugares en los que aún se puede desarrollar son las regiones de los países en vías de desarrollo, como lo es Latinoamérica, el resto de Asia Pacífico, caso especial de Rusia y la región de la CIS que ya se ha estado desarrollando, pero por diferentes razones el porcentaje ha sido menor, y la región subdesarrollada del continente africano, que es la región que menos ha desarrollado la energía hidroeléctrica. Aquí hay un punto importante en el desarrollo sostenible energético, ya que uno de los grandes problemas es el aumento demográfico que está teniendo África y el incremento que tendrá la demanda energética. Si se hace una rigurosa planificación para el desarrollo de una matriz energética, se puede construir un modelo energético sostenible para esta región, sin la necesidad del derroche energético que tienen los países desarrollados, sino incrementando su calidad de vida a niveles decentes, y teniendo acceso a la electricidad esas 1000 millones de personas que viven en África subsahariana, aunque podría complicarse la implementación debido a problemas políticos y sociales que hay en la región, sumados a la baja capacidad económica.

Por parte de los países en vías de desarrollo, se pueden crear políticas que impliquen el aumento en la inversión económica para el desarrollo de energía hidroeléctrica, y la matriz energética eléctrica se convierta en una que tenga mayor porcentaje de renovables, creando así un modelo energético más sostenible. Por último, el potencial de Rusia y sus compañeros de la CIS se torna más complicado debido a sus abundantes reservas de gas natural, y en este caso, la energía hidroeléctrica difícilmente podría competir.

El desarrollo de la energía hidroeléctrica podría ser complicado o sencillo dependiendo de las medidas que en el presente se tomen, siendo la fuente de energía renovable más importante en la actualidad, ya que en 2018 se generaron 4196 TWh teniendo una capacidad instalada de 1307 GW, es decir, se tuvo un factor de planta del 90% para la hidroeléctrica a nivel mundial, el cual es el más alto para las fuentes de energía renovable, que en su gran mayoría solo producirán electricidad. Este factor de planta será importante analizar en las siguientes fuentes de energía, siendo clave en su desarrollo, junto con el EROI que para el caso de la hidroeléctrica es de 1:100 siendo el mayor de todas las fuentes de energía.

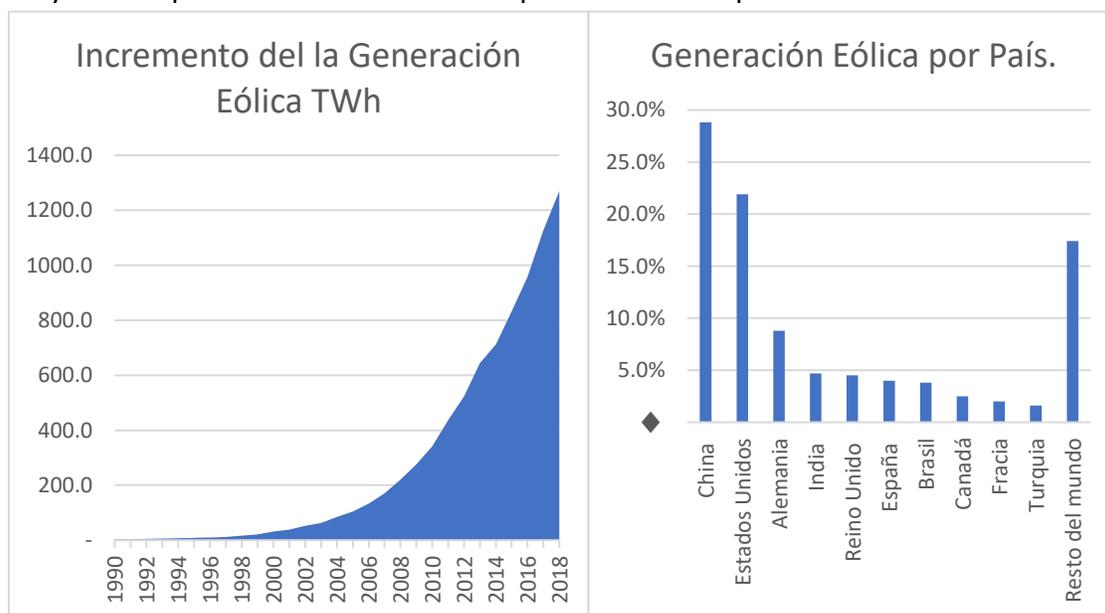
A pesar de que la generación energética hidroeléctrica puede crecer todavía unos 2,300 TWh, que representan poco más de la mitad de lo que se genera en la actualidad, el futuro es incierto para esta fuente de energía, que ya ha sido desarrollada en su mayor potencial en los países desarrollados. Los países en vías desarrollo, como es el ejemplo de México, han dejado de construir presas debido a los problemas antes mencionados. Por último, en los países subdesarrollados es aún más complicado desarrollar esta fuente de energía para su propio beneficio. Ellos tendrían que empezar por organizarse políticamente de manera que los problemas sociales queden en segundo plano y se empiecen a desarrollar económicamente de manera sostenible.

### 2.3.2 Energía Eólica

La energía eólica es en la actualidad una de las tecnologías de energía renovable con más rápido crecimiento y con más desarrollo en el mundo, ya que apenas hace 20 años, es decir, en el año 2000, se generaron solamente 31.4 TWh de energía eléctrica a partir del viento, y para el año 2018 se incrementó 40 veces la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica, alcanzando 1,270 TWh.<sup>62</sup> Colocándose así en el segundo lugar en generación eléctrica a partir de fuentes renovables solo por detrás de la energía hidráulica, que aportó el 61% de la matriz energética renovable, la eólica 22%, la bioenergía el 8.3%, la solar 7.2% y por último la geotérmica combinada con la oceánica solo el 1.5%. Sin embargo, ese 22% que representa la energía eólica, en la matriz energética renovable solamente representa el 5.6% en la matriz eléctrica mundial, la bioenergía, la solar y la geotérmica, combinada con la oceánica, solamente representan el 2.2%, el 1.9% y el 0.4% respectivamente.

Si ponemos a las fuentes de energía renovable en el contexto de la matriz de energía primaria, vemos que solamente representa el 6.1% de toda la energía que necesita el mundo para vivir. Las fuentes de energía renovable son la hidráulica, la eólica, la bioenergía y la geotérmica con la oceánica y representaron cada una el 4%, el 1.3%, el 0.52% el 0.48% y el 0.01% del consumo primario de energía en 2018 respectivamente, porque como ya vimos, se necesitan diferentes tipos de energía a parte de la electricidad, y hasta ahora las fuentes renovables solamente generan electricidad.

La energía eólica se ha implementado principalmente en China, Estados Unidos y Alemania, que juntos generaron el 60% de la energía a partir del viento en 2018 aportando el 29%, 22% y 9% respectivamente. Estos tres países son los que más han desarrollado esta



Gráfica 38. Generación de Energía Eólica.

<sup>62</sup> BP Statistical Review of Global Energy. 2019.

tecnología que a pesar de ser prácticamente nueva, su incremento ha sido importante. Su funcionamiento es a partir de aerogeneradores que son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica y esta es convertida en energía eléctrica. La captación de energía eólica se produce mediante la acción del viento sobre las palas. Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben estar dotados de un sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red.

Los componentes principales de un aerogenerador son:

**Cimentación:** El diseño de la cimentación de un aerogenerador es función de sus dimensiones y de las características geotécnicas del terreno. Para construir la cimentación de un aerogenerador con una potencia de 3 [MW] para un terreno firme:

1. Se prepara el terreno con maquinaria de construcción haciendo una excavación con una profundidad de 4 metros y un diámetro de 22 metros.
2. Se construye del sistema de jaula de pernos que ocupa 68.5 toneladas de acero.
3. Se realiza el vertido 520 metros cúbicos de hormigón, que son más de 1,275 toneladas.
4. Se realiza el relleno del terreno.

**La Torre:** La torre es donde se sustenta todo el conjunto del aerogenerador, la mayoría son tubulares de acero de 20-30 metros unidas con pernos, el precio de la torre de la turbina eólica equivale al 20% del costo total del aerogenerador, es una ventaja construir una torre alta, debido a que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo, pero así los costos y los recursos también aumentan.

El tamaño de la torre depende directamente del tamaño de las palas y la potencia del generador, para el caso de una turbina de 3 MW la altura debe ser de 100 metros y el peso total de la torre es de unas 220 toneladas de acero.

**Góndola:** Contiene los componentes clave del aerogenerador, como lo es el rotor, el multiplicador, el generador, el anemómetro, motor de orientación, eje principal, eje pequeño, electro freno, el sistema de refrigeración, el controlador, corona de orientación.

**Rotor:** Es el elemento principal de una máquina eólica, siendo su función transformar la energía cinética del viento en energía mecánica aprovechable. El rotor es el sistema formado por el buje, las palas, el eje y el sistema regulador de potencia. Las palas del aerogenerador al girar accionadas por el viento transmiten su potencia hacia el buje. Los aerogeneradores de eje horizontal cuentan con tres palas y para el caso de una potencia de 3 MW las palas tienen una longitud de 65 metros. El uso del viento como generador de energía eléctrica demanda un uso masivo de acero.

Los aerogeneradores empiezan a funcionar cuando el viento alcanza una velocidad de 3 a 4 metros por segundo, y llega a la máxima producción de electricidad con un viento de unos 13 a 14 metros por segundo. Si el viento es más fuerte, los aerogeneradores se paran por cuestiones de seguridad. Cuando no hay viento, la electricidad sigue siendo suministrada por otras formas de obtener energía, como el gas natural. Un aerogenerador tiene una vida útil de entre veinte y veinticinco años, es decir que no es infinita, como solemos pensar. El desarrollo de la energía renovable para construcción depende de los recursos no renovables, el uso de acero, hormigón y concreto. Considerando también que la producción de esos materiales depende de los combustibles fósiles, se puede decir que el desarrollo de las fuentes de energía renovable solo es posible gracias a las fuentes no renovables, debido a su absoluta dependencia.

De acuerdo con el Comité Técnico de la Asociación Mundial de Energía Eólica, WWEA, que publicó su primer informe de Evaluación Mundial de Recursos Eólicos en 2014, donde ofrece una descripción completa de la evaluación de los recursos eólicos disponibles en la mayoría de las regiones del mundo, según lo identificado por este estudio, el potencial eólico total mundial es de 95 TW.<sup>63</sup> Si comparamos los 564 GW de potencia instalada que se tenían en 2018 con la energía que se generó, que fueron 1,270 TWh, así que se tiene un factor de planta del 62.5%, que es bajo si lo comparamos con las centrales hidroeléctricas, y continuando con el desorbitante potencial que nos dice la WWEA, tendríamos el suficiente potencial para satisfacer nuestras necesidades energéticas solamente con energía eólica generando hasta 200,000 TWh al año, según la Asociación lo cual es prácticamente absurdo, y aun así la WWEA subraya que no hay escasez de energía en nuestro planeta.

La Agencia Internacional de Energía Renovable IRENA pronostica que para 2050 la capacidad instalada de energía eólica será de 6050 GW, es decir, una capacidad instalada 11 veces mayor a la que había en 2018, lo cual resulta interesante pensar que tendremos este incremento, porque como ya vimos cada 25 años se tendrán que cambiar todas las turbinas eólicas e invertir nuevamente recursos naturales no renovables y financieros para construir las. Pero también significaría que, si el consumo eléctrico se mantuviera constante para 2050, el 50% de la energía eléctrica sería eólica, lo cual también me parece un poco absurdo, esto es debido a los picos de producción que afectan a las fuentes renovables, ya que no son constantes y afectan las líneas de transmisión eléctricas y todo el sistema.

Se tiende a considerar que la calidad y la capacidad instalada de las fuentes de energía renovable es similar a la de los combustibles fósiles, o incluso mejor. Sin embargo, las características de las fuentes de energía renovable presentan serias desventajas que se verán al terminar la parte de energía solar.

En la sección del petróleo se analizó lo que pasaba con Estados Unidos y el desarrollo que ha tenido a lo largo de la historia; en la sección de carbón vimos la dependencia energética

---

<sup>63</sup> WWEA World Wind Resource Assessment Report. 2014.

de China ante el recurso energético más contaminante, y como consecuencia, la dependencia de todos en el planeta, ahora que estamos viendo a la energía eólica es conveniente analizar lo que pasa en Alemania y su programa Energiewende, cómo lo han implementado, hasta dónde les ha funcionado y qué es lo que se espera para el futuro.

La Energiewende alemana busca transformar su sistema energético, pretendiendo cubrir el sistema energético del país con fuentes de energías renovables que sea seguro, rentable, asequible y sostenible. También ha apostado a gestionar la energía de manera cada vez más eficiente, lo cual lleva a beneficios económicos a la vez que se realiza una contribución importante a la protección del clima. Con esta transición energética Alemania asume la responsabilidad por la Tierra y por las personas, buscando que la economía crezca mientras el consumo de energía disminuye, recortando el consumo de energía primaria en un mínimo de 27% para 2030 respecto a 1990 para todos los miembros de la Unión Europea. Pero Alemania quiere reducir el consumo de energía a la mitad, lo cual forma parte de los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París sobre el cambio climático, esto significa que lo más importante para los alemanes es el aumento en la productividad energética que hasta en el periodo de 1990 a 2017 aumentó en un 87%, que pasó de producir 128.8 euros por cada GJ a 241.29 euros respectivamente.<sup>64</sup>

La expansión de las fuentes de energía renovable constituye, junto con la eficiencia energética, el pilar central de la transición energética y permitirán a Alemania intentar ser más independiente de los combustibles fósiles, contribuyendo también a la acción por el clima. Siendo las renovables la fuente de energía más importante en su matriz energética eléctrica, aportando el 33.3% de su electricidad en 2017, suministrando la energía eólica y solar el 16.3% y el 6,1% respectivamente. A pesar de que los costos han disminuido por cada kWh generado con estas fuentes, Alemania enfrenta el reto de configurar el desarrollo de la energía solar y eólica de modo que puedan ser asequibles y contribuyan a la seguridad de abastecimiento.

Para poner en marcha el proyecto Energiewende, EEG, ha sido necesario realizar inversiones millonarias para poder construir una nueva infraestructura energética y poner en marcha las medidas de eficiencia, aumentando los precios medios de la electricidad para los hogares alemanes, que aumentaron de 0.21 euros en 2007 a 0.29 en euros por cada kWh consumido, aumentando así un 38% los costos por electricidad. Este incremento en los costos es la tasa especial prevista en la EEG transferible a los usuarios. Agregando también que el precio de la electricidad en la bolsa ha caído debido a las crecientes cantidades de energía eléctrica generada a partir de renovables, cuando existen los picos de producción que se venden a través de la Bolsa Europea de Energía, que es el un mercado electrónico para las compañías eléctricas de 20 países de la Unión Europea, donde se comercia con la energía y las emisiones del futuro.

---

<sup>64</sup> Ministerio Federal de Relaciones Exteriores. La Energiewende alemana.

Además, en el año 2000 el Gobierno Federal alemán decidió abandonar por completo el uso de la energía nuclear para la producción de electricidad y sustituirla por fuentes renovables. El acuerdo adoptado juntamente con los operadores de las centrales nucleares preveía una limitación de la vida útil de las centrales existentes y la prohibición de construir centrales nuevas. Más tarde en 2010, el acuerdo se modificó decidiendo que la vida útil de las centrales nucleares todavía en funcionamiento se prologaría para servir de puente hasta que las fuentes de energía renovable pudieran reemplazarlas por completo, pero tras el accidente nuclear ocurrido en Fukushima en 2011 el Gobierno Federal anuló esta decisión y se planea que para 2022 se cierren las últimas centrales nucleares.

Alemania apuesta en todo el mundo por una política energética sostenible innovadora y asequible y quiere compartir su experiencia en la transición energética, manteniendo una estrecha colaboración con sus vecinos europeos y socios internacionales, afirmando que la transición energética no es un lujo, sino que promueve el desarrollo sostenible y económicamente provechoso y tal vez la transición energética puede ser un impulsador de innovación que fomente el crecimiento, el bienestar y el empleo en los sectores del futuro.

### 2.3.3 Energía Solar.

El sol es nuestra gran fuente de energía, todos los combustibles fósiles que hoy utilizamos tuvieron su principio en la acumulación de energía a partir del sol hace millones de años. La energía hidráulica y la eólica funcionan gracias a los ciclos naturales de la Tierra ocasionados por el sol. Ahora es el turno de hablar de la energía solar, que es un tipo de energía que tiene el potencial de ser utilizada en muchas partes del mundo y se puede usar para generar electricidad, calor o incluso para desalinizar agua.

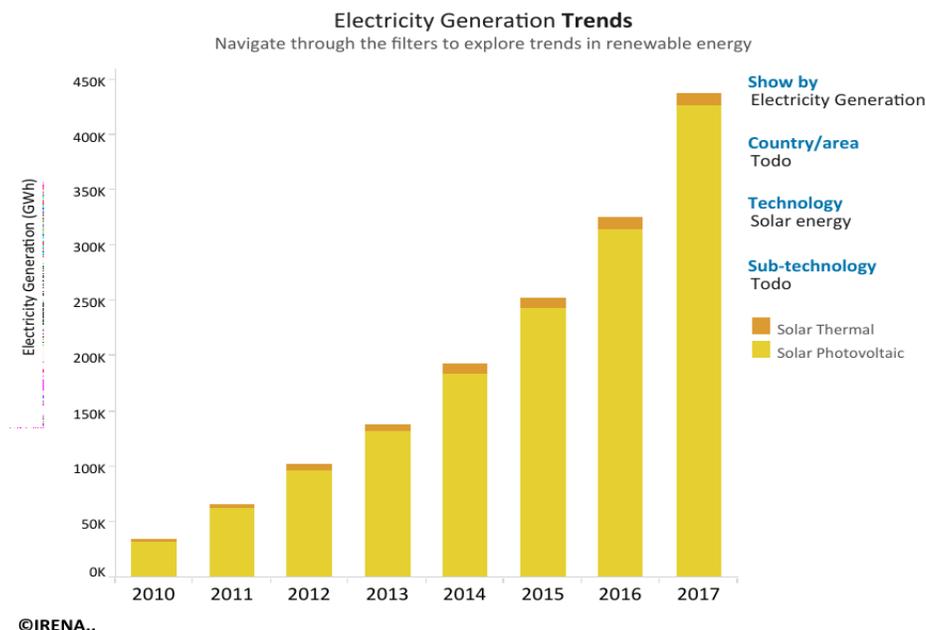
Existen tres maneras diferentes de aprovechar la energía a partir del sol. La primera es la energía solar fotovoltaica, a partir de celdas fotovoltaicas que convierten la luz solar en electricidad, la segunda es la energía solar térmica que almacena el calor del sol en el agua especialmente y la tercera es la energía solar concentrada.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía Renovable en 2017 se generaron un total de 437.36 TWh de energía solar fotovoltaica y térmica combinadas, aportando cada una un total del 425.88 TWh, que representaron 97.4% y 11.48 TWh que representó el 2.6% respectivamente. El incremento en el desarrollo de esta tecnología ha sido considerablemente bueno ya que en 2010 solamente se generaron 33.83 TWh.<sup>65</sup> Lo que significa que, en solo 7 años, la generación de energía a partir del sol se ha multiplicado por 13. Se pronostica que continúe en aumento los próximos años, ya que en solo un año se incrementó la generación de energía eléctrica en un 31% y representó un crecimiento de 132 TWh para 2018, gracias a la competitividad de la energía solar fotovoltaica, que aún se mantiene en camino de alcanzar los niveles en el escenario de desarrollo sostenible de la IEA, que requerirá alcanzar un crecimiento anual promedio del 16% entre 2018 y 2030. Se

---

<sup>65</sup> IRENA: Agencia Internacional de Energía Renovable. 2017.

tendrán que generar 3268 TWh para ese año, esto quiere decir que se tiene que multiplicar por 5 la generación de energía solar en tan solo 10 años, panorama que se ve complicado, pero en este sentido se convierte en un factor clave para la transición energética y el desarrollo sostenible de las naciones.

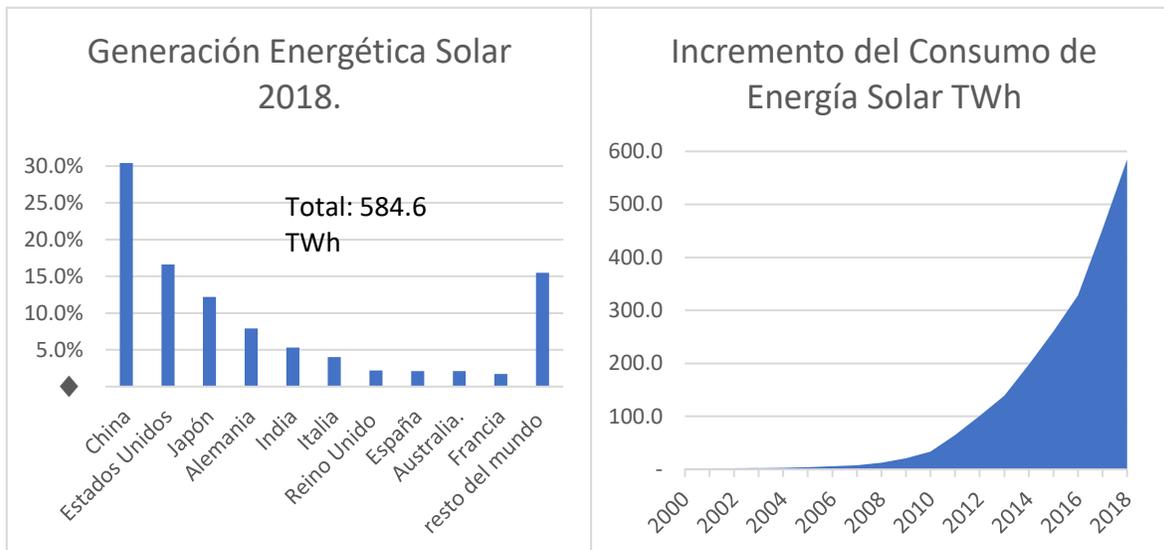


Gráfica 39. Generación de Energía Solar.

Ahora bien, al igual que en el caso de la energía hidráulica y eólica, China también es el principal generador de energía a partir del sol, generando poco más del 30% del total de la energía solar mundial, seguido por Estados Unidos, Japón, Alemania e India, representando el 16.6%, el 12.2%, el 7.9% y el 5.3% respectivamente. A pesar de los cambios de la política ambiental, energética y las incertidumbres de China, India y Estados Unidos la competitividad de la energía solar ha mejorado y continuará en desarrollo en estos países, ya que en el último pronóstico de 5 años de la IEA la capacidad instalada de energía renovable se expandirá en un 50% entre 2019 y 2020, liderada por la energía solar que representa casi el 60% del crecimiento esperado, que será de 697 GW.<sup>66</sup> Representando China el 40% de la expansión global de la capacidad renovable durante el periodo del pronóstico.

El desarrollo de los sistemas fotovoltaicos distribuidos en hogares, edificios comerciales e industria están listos para ser implementados a gran escala y traer consigo cambios significativos en los sistemas de energía, ya que un aumento en la capacidad de los consumidores de generar su propia electricidad representa nuevas oportunidades y desafíos para los proveedores de energía, los ingenieros y los responsables políticos internacionales.

<sup>66</sup> IEA Agencia Internacional de Energía. 2018.



Gráfica 40. Generación por País de Energía Solar y Crecimiento Mundial.

Por otro lado, el calor generado a partir de la energía solar aumentará en una quinta parte entre 2019 y 2024. El potencial de calefacción renovable sigue siendo muy poco explotado y no concuerda con los objetivos climáticos mundiales, lo que exige un mayor desarrollo de esta fuente, que parece ilógico, ya que uno de los grandes problemas de las fuentes de energía renovable, especialmente la solar y la eólica, es que son intermitentes generando graves problemas y desafíos. Se plantea darle solución con diferentes tipos de baterías para poder almacenar los excesos de energía cuando las fuentes están presentes y después suministrarlo al sistema eléctrico cuando la demanda lo solicite. La energía solar térmica justamente permite almacenar energía, no eléctrica, pero si en forma de calor, que es una forma de energía que se puede utilizar potencialmente en el transcurso del día a día para bañarnos o para construir sistemas de calefacción eficientes, disminuyendo el uso de electricidad para este objetivo y como consecuencia disminuyendo el consumo de energía no renovable.

Es el momento de ponernos utópicos como lo han hecho diferentes instituciones y líneas de investigación del desarrollo energético renovable, que nos dicen que el sol irradia aproximadamente 120,000 TW sobre la Tierra, siendo 6,000 veces mayor al potencial energético solar que necesitaríamos en 2020, que sería solo de unos 20 TW aproximadamente, es decir, que si somos capaces de transformar el 0.016% de la energía que el sol nos entrega pudiéramos tener un mundo funcionando al 100% con energía renovable, lo cual parece el sueño de muchos en la actualidad, pero las cosas no son sencillas como parecen, ya que a parte del extractivismo de los recursos naturales para la construcción del mundo renovable que anhelamos, que es en su mayoría de recursos no renovables, además de que la energía solar tiene un EROI de 6.8:1, que prácticamente está por encima del límite para que funcione la sociedad en sus niveles más bajos, que es de 3:1, y esto podría ocasionar que la sociedad deje de funcionar por dos factores, el primero es la falta de recursos para la construcción del sistema energético solar, ya que depende de la

energía fósil, y el segundo factor por la implementación de nuevos sistemas cuando los paneles solares lleguen al final de su vida útil, ya que en ese momento estaremos sin energía y sin recursos. Sin embargo, a pesar de esto también hay una serie de limitantes para las fuentes de energía renovable que a continuación se describen de manera más detallada:

- Densidad y Potencial Energético:

Las tecnologías de energía renovable tienen una densidad energética muy baja comparada con las fuentes de energía fósil, que es de 16 KWh/kilogramo de combustible de petróleo comparado con 5 KWh/m<sup>2</sup> para la eólica, 0.3 KWh/m<sup>2</sup> para la solar y 0.3 KWh/kg para las baterías. Reemplazar la capacidad actual que aportan los combustibles fósiles por fuentes renovables implica construir el doble de potencia con fuentes renovables. Continuemos con el ejemplo de Alemania, que tiene un potencial energético renovable instalado de 120 GW y solo 90 GW de capacidad instalada con fuentes fósiles y nuclear. Sin embargo, las renovables solo generan el 37% de la electricidad, es decir, 225 TWh, por lo que se requieren al menos 160 GW de capacidad instalada con renovables para lograr generar el 50 % de la electricidad como lo hacen los no renovables que fueron cerca de 300 TWh, es decir que necesitan el doble de capacidad instalada las renovables para generar la misma energía que las no renovables.

El potencial de las fuentes de energía renovables, en específico la del sol, se consideran prácticamente ilimitados. Sin embargo, las áreas con potencial están perfectamente delimitadas y su distribución no es homogénea, ya que este potencial se encuentra disperso y las zonas más productivas se concentran en lugares puntuales y la cantidad de energía que se puede aprovechar a partir del sol es muy limitada.

- Ocupación superficial y localización de zonas aptas:

La implantación de la energía eólica y solar requiere de grandes superficies para su instalación y generalmente el potencial instalado no siempre está cerca de los centros de consumo. Si comparamos nuevamente la tecnología convencional fósil, en este caso, una central de ciclo combinado, con la instalación de un parque solar fotovoltaico, vemos que en 1 km<sup>2</sup> podemos conectar 1000 MW y 160 MW de potencia respectivamente, pero si consideramos la energía que va a generar cada uno al año vemos que la central de ciclo combinado generará cerca de 2500 GWh, en cambio el parque solar solo genera 103 GWh, es decir que genera 25 veces menos energía ocupando la misma superficie.

- Frecuencia de generación de electricidad:

La frecuencia en la generación eléctrica es una de las limitantes más grandes que tienen las fuentes renovables de energía, porque de nada sirve que el potencial instalado vaya vertiginosamente en aumento, si no está generando energía la mayor parte del día, ya que el tiempo durante un año en el que cualquier tecnología esté disponible y operando al 100% de su potencia nominal, constituye su productividad anual y su factor de planta. Las

tecnologías convencionales fósiles tienen un factor de planta en promedio de 0.75, es decir que la productividad anual será de unas 6,600 horas, comparado con el promedio anual de operación de una central hidroeléctrica que es de 3,500 horas, el de un parque eólico de 2,800 horas, y el de un parque solar de 1,200 horas. Vemos que estas tecnologías solo funcionan el 40%, el 33% y el 13% del tiempo respectivamente, y por lo tanto no están generando electricidad, esto hace necesario mantener un respaldo energético permanente cuando no hay flujo de agua, viento o radiación solar, que por lo general son centrales de gas natural, nucleares o de carbón, que intervienen como respaldo para que la sociedad siga consumiendo energía y los sistemas de transmisión no se vean afectados. Aunque se instalen grandes potenciales de energía renovable seguirá dependiendo de la no renovable.

- Variación, intermitencia y baja capacidad de predicción:

La energía solar y eólica generan electricidad de manera inestable, que provocan distorsiones en la transmisión de electricidad a la red, lo que dificulta su manejo, ya que ni siquiera estando en funcionamiento tienen una generación estable de energía, esto ocasiona que no se pueda predecir con exactitud su generación. Además, la curva de generación eléctrica no se alinea con la curva de demanda de electricidad, ya que presenta variaciones que no están en sincronía, cuando se genera más electricidad de la que se demanda se crea un exceso de generación de energía eléctrica que debe desahogarse con urgencia en otras regiones, como lo hace Alemania con sus países vecinos. Este intercambio de energía es generalmente a precios negativos, pero si no se hace, se corre el riesgo de colapsar la red eléctrica. El caso contrario, ocurre cuando la demanda es más alta que la generación de energía por fuentes renovables, que es lo que ocurre la mayor parte del tiempo, se ocupan las centrales de gas, carbón o nucleares para compensar la demanda eléctrica, es decir aun así las fuentes de energía renovables dependen en su funcionamiento de las no renovables.

- Almacenamiento:

La energía renovable: solar fotovoltaica y eólica, a diferencia de la hidroeléctrica, no puede ser almacenada, ya que no se puede almacenar ni el viento ni la luz del sol. Se ha intentado el desarrollo de posibles soluciones a este problema, como los sistemas de almacenamiento de electricidad, BESS (Battery Energy Storage Systems), que constituyen enormes instalaciones con miles de baterías que sirven para almacenar electricidad en los momentos de sobreproducción de la eólica y solar. Existen grandes baterías en la actualidad que tienen una capacidad para almacenar 120 MWh. Sin embargo, ciudades como la ciudad de México consume esa energía cada dos minutos en sector residencial. Se necesitarían alrededor de 72,000 BESS para almacenar la energía que necesita el sector residencial de la ciudad de México, esto es prácticamente imposible de construir.

Un sistema eléctrico basado en eólica y solar combinada con baterías para las ciudades es prácticamente imposible, debido a problemas físicos, ya que la electricidad que una ciudad

consume durante un año debe ser generada y almacenada en tres meses y medio, que es el tiempo que generan energía las fuentes renovables al año, y esto implica tener baterías con la suficiente capacidad para abastecer de electricidad durante 6000 horas al año.<sup>67</sup>  
Impacto ambiental y Riesgos meteorológicos:

Las fuentes de energía renovables tienden a ser consideradas limpias y amigables con el medio ambiente y está claro que cuando generan electricidad no generan emisiones de CO<sub>2</sub>, pero sí lo hacen secundariamente en el proceso de construcción e instalación de los parques de generación. Además, en el caso de la energía solar se requiere deforestar toda la superficie que va a ocupar el parque solar, esto es quedarnos sin árboles, afectando ecosistemas. Para evitar deforestar se están instalando parques solares en el desierto, pero aquí el problema es el uso del agua, así que nos vamos dando cuenta que cualquier acción humana tiene un gasto energético que a su vez daña el medio ambiente y disminuye los recursos energéticos. Las instalaciones y los componentes de las fuentes de energía renovables son frágiles y están expuestos a la intemperie, siendo afectados por los acontecimientos meteorológicos.

Las fuentes de energía renovable no serán capaces de sustituir a las fuentes de energía fósiles por la sencilla razón de que el mundo que desarrollamos fue a partir de fuentes fósiles, se necesitaría construir un nuevo modelo energético económico basado desde sus cimientos en fuentes renovables para funcionar con energía solar y eólica. Basta de creer en la mentira que podremos crear un mundo basado en fuentes de energía renovable que pese a sus limitantes físicas y económicas no se desarrollarán ni podrán competir con las fuentes de energía fósiles como se analiza con la perspectiva energética mundial.

#### 2.3.4 Otras fuentes renovables: Geotérmica, Biomasa y del Mar.

La combinación de la generación de energía a partir de la geotermia, la biomasa y el mar sumaron en 2018 cerca de 625 TWh.<sup>68</sup> Esta generación fue un poco superior a la generada por la energía solar en el mismo año, pero a diferencia de la solar y la eólica, estas fuentes tienen más complicaciones y menor potencial de crecimiento debido a la ausencia en su desarrollo tecnológico y viabilidad, por eso no se analizaron a profundidad estas fuentes de energía.

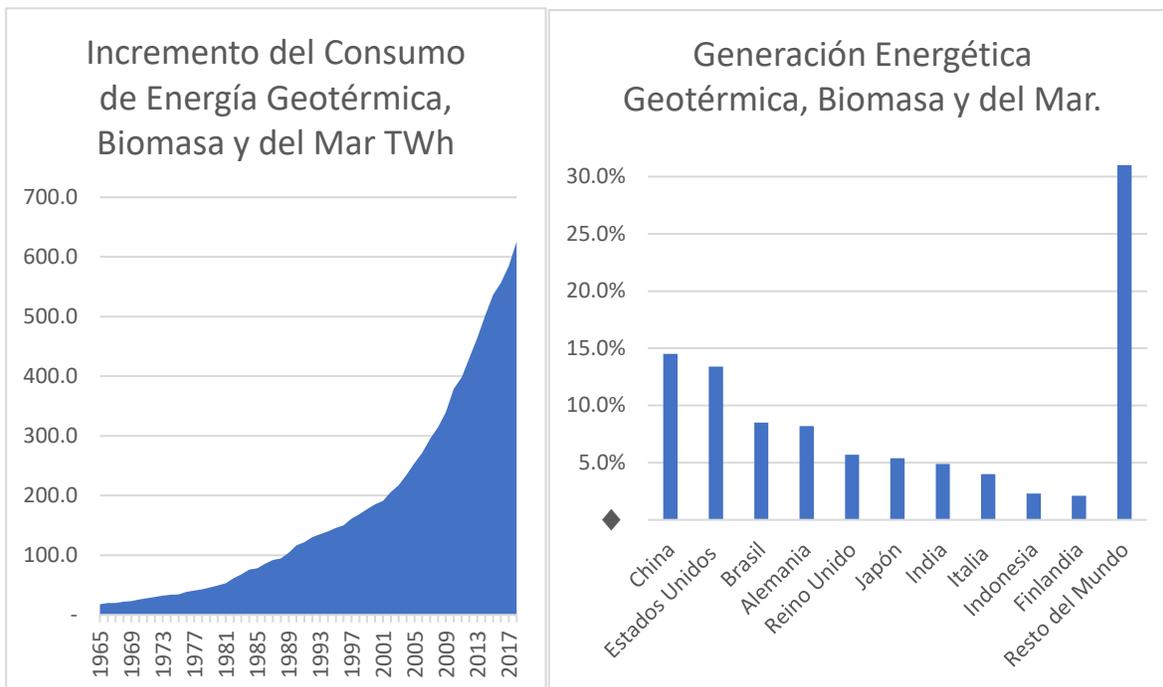
Comencemos con la energía geotérmica, que es la que aprovecha el calor del subsuelo para climatizar, obtener agua caliente empleando el uso de bombas de calor geotérmicas, y si el agua tiene una temperatura mayor a los 100 °C, se puede usar para generar electricidad, que, a diferencia de las otras fuentes, esta es capaz de producir electricidad de manera constante. De acuerdo con la Asociación de Energía Geotérmica se pueden aprovechar más de 200 GW de potencial convencional de energía geotérmica, es decir que solo se ha aprovechado el 7% del potencial mundial. Sin embargo, es una tecnología que se encuentra

---

<sup>67</sup> Ocampo Edgar. Desarrollo Industrial 2050. Hacia una Industria del futuro. México 2020.

<sup>68</sup> BP Statistical Review of Global Energy. 2019.

focalizada en ciertos países que tienen las condiciones geotérmicas adecuadas para generar energía y su desarrollo suele ser bastante costoso y complicado, lo que disminuye su rentabilidad y hace más difícil el aprovechamiento de su potencial.



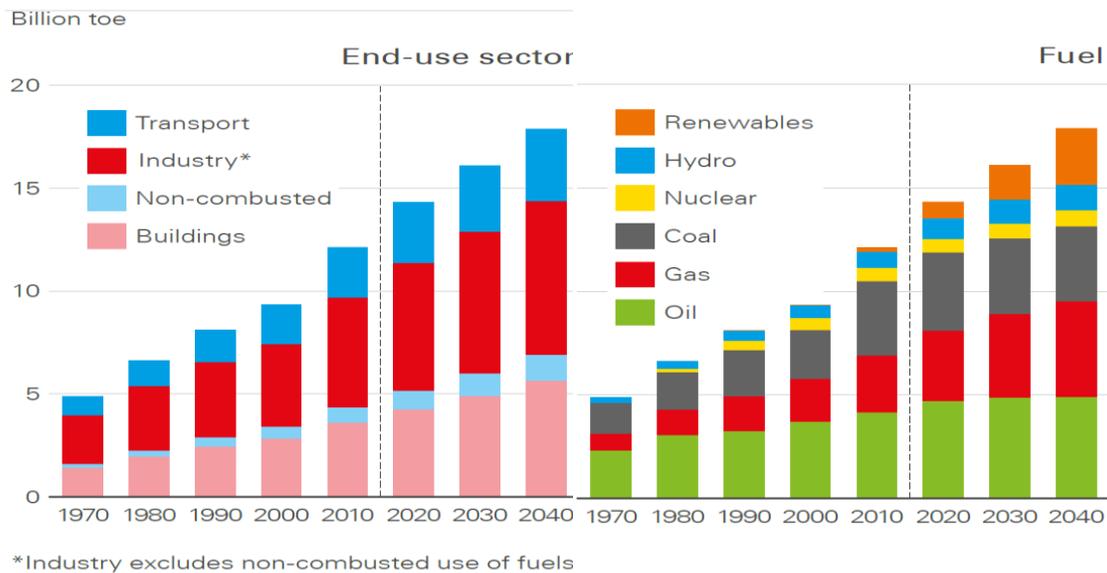
Gráfica 41. Otras fuentes de Energía Renovable.

En segundo lugar esta la biomasa, que es materia orgánica que puede ser aprovechada energéticamente y se ha desarrollado principalmente en Brasil, Estados Unidos y China, pero tiene un EROI demasiado bajo, que está entre 0.8 y 10 para el etanol a base de caña de azúcar, entre 0.8 y 1.6 para el etanol a base de maíz, y el 1.3 para el biodiesel, es decir, no se obtiene prácticamente nada de ganancias de energía y en algunos casos el retorno es negativo, por eso dudo que esta tecnología pueda crecer en el futuro. Además, que afecta gravemente los ecosistemas naturales del planeta, fomentando aún más el extractivismo de los recursos naturales, debido a nuestro feroz consumo energético que trata de buscar alternativas ante la disminución de los combustibles fósiles.

Por último, la energía que se puede aprovechar a partir de la energía cinética del mar o es potencialmente muy grande, pero no se ha desarrollado en una escala económicamente viable. Es una tecnología en desarrollo por lo que ahora no se puede tomar en cuenta como una fuente sólida para la transición energética. Existen estas diferentes maneras de generación de energía limpias pero su funcionamiento es limitado aún más que la hidráulica, eólica y solar y su crecimiento en el futuro prácticamente será nulo comparada con la demanda energética de la matriz primaria mundial.

## 2.4 Perspectiva Energética Mundial.

De acuerdo con la perspectiva energética de British Petroleum <sup>69</sup> publicada en 2019, el consumo energético en 2040 será de 213,578 TWh, 30% mayor al consumo pronosticado de 2020. A pesar de los compromisos internacionales por disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentaremos nuestro consumo de petróleo, gas natural y carbón. Por otro lado, se triplicará el suministro de energía renovable eólica y solar que representará sólo el 6% del consumo mundial de energía primaria; la energía hidroeléctrica y nuclear permanecerán casi constantes porque prácticamente suministrarán la misma energía en 2020 que en 2040.



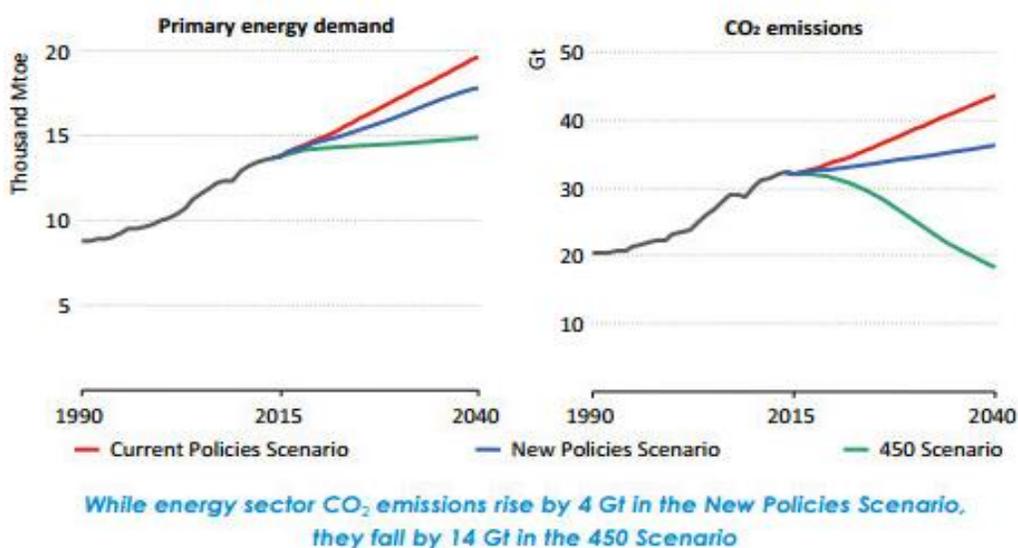
Gráfica 42. Perspectiva de Consumo Energético por Sector y Fuente. IEA.

De acuerdo con la Perspectiva Energética Mundial de 2015 de la Agencia Internacional de Energía, que toma en cuenta las políticas adoptadas en la COP21 para la reducción de gases de efecto invernadero, para 2040 el consumo eléctrico mundial va a llegar a 39,444 TWh, que será 48% mayor al que se consumió en 2018, que fue de 26,614 TWh, y el porcentaje del carbón disminuirá de 38% a 30% de 2018 a 2040. Sin embargo, se consumirán 1,720 TWh más, esto representa un aumento de tres veces de lo que se generó con energía solar en 2018. Por otro lado, la generación eléctrica a partir de petróleo será mínima, menor al 1%, pero el gas natural continuará representando el 23%, lo que significa que se incrementarán casi 3,000 TWh, para 2040, que es más del doble de lo que se generó a partir de energía eólica en 2018. Por su parte el porcentaje de la energía nuclear aumentará del 10% al 12%, es decir, que se incrementarán 2,000 TWh, pero es un panorama complicado porque se tendría que aumentar el 75% de la generación que hay en la actualidad. Por su parte la energía hidroeléctrica disminuirá en porcentaje del 16% al 15%, se generarán 6,300 TWh, que es un caso ideal ya que se tendrían que ocupar el 75% del total de las presas a nivel mundial, que es prácticamente el potencial máximo que se puede desarrollar, la

<sup>69</sup> BP Energy Outlook 2019 edition

energía eólica aumentará de 5.6% a 9%, que es el incremento más grande en porcentaje y representaría un incremento del 80% de eólica, panorama que se ve bastante realista; y por último, la energía solar aumentará del 1.9% al 4%, que representan 1,100 TWh que es un crecimiento del doble de lo que se generaba a partir de energía solar en 2018.

También el consumo de energía primaria con las actuales políticas aumentará de 160,000 TWh en 2018 a 210,000 TWh en 2040, lo que significa que aumentaremos nuestro consumo un tercio más del actual y tendríamos que agregar aproximadamente 50,000 TWh a nuestro voraz consumo, que es casi el doble de lo que se generó en electricidad en 2018, de los cuales el 75% será generado a partir de combustibles fósiles.<sup>70</sup>

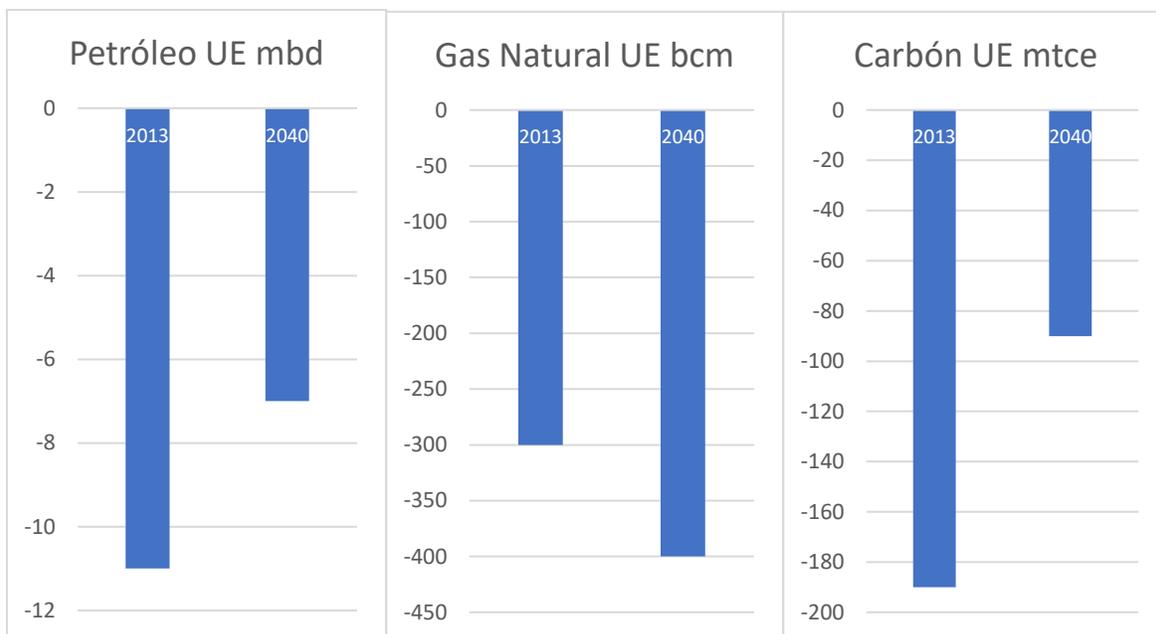


Gráfica 43. Demanda de Energía Primaria y Emisiones de CO2 por Escenario. IEA.

Para crear el modelo energético de desarrollo sostenible se tomará en cuenta el escenario de nuevas políticas acordado en el acuerdo de París en la COP21, que se limita al aumento de temperatura global en menos de 2.7 °C, siendo el más realista de los tres escenarios, ya que es evidente que el escenario 450 no será posible cumplir y el escenario con las políticas actuales no favorecen al desarrollo de la sociedad ante la perspectiva de una disminución en la disponibilidad de los recursos fósiles. El escenario con las nuevas políticas nos indica que el consumo energético llegará a su máximo histórico en 2040 y que para ese año consumiremos alrededor de 180,000 TWh. Esto quiere decir que deberemos agregar a nuestra matriz energética primaria cerca de 20,000 TWh de energía en solo 20 años.

Para terminar este capítulo, y tener sólida información de la perspectiva energética, se analizó también el escenario del comercio neto por región y por combustible fósil ante las nuevas políticas en relación del año 2013 al año 2040.

<sup>70</sup> World Energy Outlook 2015. International Energy Agency. France 2015.



Gráfica 44. Importaciones de Hidrocarburos en Europa. IEA.

La región de América del Norte y América Latina se mantendrá como exportadores netos de combustibles fósiles, pero por muy poco, porque podrían convertirse en importadores. La región de África pasará algo muy similar, al igual que la región de Oceanía, pero esta región se ha mantenido como el principal exportador neto de carbón y en 2040 aumentará su participación; también aumentará, pero en menor medida, el gas natural. Por su parte, la Región de la CIS que ha sido un importante exportador neto de combustibles fósiles, se mantendrá, e incluso aumentará su participación con el gas natural.

El caso de la región de Medio Oriente que ha estado en la primera posición como exportador neto mantendrá su liderato, e incluso aumentará su participación con petróleo y gas natural.

La región de Asia ha sido la que más recursos fósiles ha importado, colocándose en la primera posición, y para 2040 aumentará todavía más sus importaciones. En el caso del petróleo casi duplicará, para el gas natural triplicará y para el carbón incrementará en 30% sus importaciones aproximadamente. La región de Europa en la actualidad es importadora neta de los tres hidrocarburos, pero para 2040 disminuirá su proporción en petróleo y carbón; sin embargo, aumentarán sus importaciones de gas natural.

Conocer las exportaciones e importaciones energéticas netas que se presentarán en el futuro es importante porque de estas depende la seguridad energética, así como las políticas y acciones que cada una de las regiones esté determinada a cumplir y cuáles son sus principales prioridades. Además, que es un tema de estrategia geopolítica que será fundamental en el desarrollo de la sociedad.

### 3. Modelo Energético para el Desarrollo Sostenible ante la Perspectiva de una Crisis Energética Mundial.

La sociedad desde hace poco más de 200 años ha estado en busca de una mejor calidad de vida como consecuencia del desarrollo económico, energético y tecnológico, esto nos ha puesto en donde estamos ahora en 2020 con los grandes problemas que deberemos enfrentar ante una crisis energética mundial a corto y mediano plazo, ya que si no actuamos de inmediato de manera determinada y realista para cumplir nuestros objetivos de desarrollo sostenible, la vida en el futuro será complicada para las siguientes generaciones porque lo único que habrá en abundancia serán crisis energéticas, sociales, económicas y ambientales, siendo nosotros los causantes de gran parte de los problemas que se enfrentarán en el futuro cercano, porque hemos actuado como si los recursos fueran infinitos pensando que el crecimiento económico inmediato sin planeación estratégica es la mejor alternativa a los problemas globales, ni capacidad de ejecución ante los problemas.

Todos en la Tierra estamos obligados a ser conscientes de los problemas energéticos internacionales que se avecinan para poder ser capaces de progresar, logrando ese desarrollo sostenible que desde hace 50 años se ha estado divulgando, pero no se han realizado los esfuerzos pertinentes para que la sociedad pueda satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, que pareciera que a veces solo nos importa el presente y poco las próximas generaciones y con esta premisa intento crear un modelo acertado.

El Modelo Energético para el Desarrollo Sostenible ante la Perspectiva Energética Mundial está basado en los Objetivos 7, 8, 9, 12, 13 y 17 de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030 y es: “Promover el crecimiento económico inclusivo a partir de garantizar la seguridad energética sostenible internacional; incrementando la innovación y la inversión de la productividad energética basada en la eficiencia y el ahorro partir de la construcción de infraestructura resiliente, desarrollando oportunidades de trabajo e incrementando la industrialización inclusiva para responder a las modalidades de consumo y producción sostenibles adoptando medidas para combatir el cambio climático y fortaleciendo la implementación de la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Ahora, al intentar crear un Modelo Energético para un Desarrollo Sostenible se ven claramente tres factores determinantes, el primero el desarrollo económico que aún será la pieza fundamental en el desarrollo de nuestra sociedad como lo ha venido siendo desde la primera revolución industrial, el segundo factor importante es la perspectiva de los recursos energéticos mundiales y su respectivo potencial en la matriz energética primaria ante una disminución en los recursos fósiles y el complicado desarrollo de las renovables y el tercer factor que igual es de radical importancia es el consumo energético mundial que tendremos a partir del 2020 y las perspectivas en el consumo para las siguientes décadas.

Estos tres factores determinarán el modelo energético para el desarrollo sostenible ante la perspectiva de una crisis energética mundial que nos permitirá desarrollar una matriz energética menos contaminante y levemente más diversificada aumentando la eficiencia energética y conservando de manera inteligente los recursos energéticos, además que nos permitirá continuar con el crecimiento económico tanto en países desarrollados, en desarrollo y subdesarrollados si se planifica este crecimiento con un elemento clave que es la productividad energética y hacer que aumente con una tasa anual positiva año tras año y por último, nos permitirá comprender los problemas y nos permitirá darles solución con el desarrollo continuo de las tecnologías de la cuarta revolución industrial pero con la concientización de la conservación y la disminución de nuestros recursos energéticos, ya que el futuro dependerá de las decisiones y acciones que tomemos en el presente.

### 3.1 Concientización, Conservación y Decrecimiento: el Camino hacia la Sostenibilidad.

El desarrollo exponencial que estamos presenciando en la actualidad es tan profundo que, desde la perspectiva de la historia del hombre, nunca ha existido otra época de mayor promesa o potencial peligro. Estamos evidenciando cambios históricos en la humanidad y comprender este avance es de excepcional importancia si queremos conformar un futuro colectivo que refleje los objetivos y valores comunes de una visión integral y a su vez compartida a nivel internacional, para poder enfrentar el cambiante panorama social, económico y energético internacional. Debemos pensar estratégicamente de manera disruptiva e innovadora, para darle forma a nuestro futuro y continuar con el desarrollo de la humanidad siendo conscientes de las limitantes físicas de nuestros recursos energéticos. Los cambios cada vez son más rápidos y las soluciones que debemos dar a los problemas que hoy nos enfrentamos deben estar a la altura de estos cambios exponenciales y disruptivos.

Continuando con el análisis energético que se desarrolló y poder partir con una base sólida ante la perspectiva de una crisis energética mundial que tendrá graves consecuencia si no actuamos de inmediato, ya que poco podremos hacer para frenar el escenario catastrófico que sería vivir una vida sin abundancia energética. El primer paso hacia la sostenibilidad energética es la concientización del problema, es decir, saber qué es lo que pasa con el desarrollo energético, porque en la mayor parte del mundo, la gran mayoría de los consumidores no tienen idea de que es la energía ni qué papel juega en sus vidas, ni en la economía mundial, ya que muy pocos tienen conocimiento sobre la energía que utilizan, cuánta energía consumen o de dónde proviene, pensando erróneamente que procede de fuentes de energía renovable, cuando en realidad proviene de fuentes fósiles en su gran mayoría, y así ser conscientes que todos somos parte del problema y todos podemos ser parte de las soluciones. Más grave aún es la ignorancia que nuestra sociedad tiene ante la economía energética y podríamos considerar a nuestra sociedad inculta en temas energéticos, a pesar de ser la energía la que nos ha permitido lograr el nivel de vida que ahora tenemos.

En marzo de 2020, una parte de la sociedad platicaba casi sin saber en su totalidad de los problemas en el mercado del petróleo y la guerra de precios entre Arabia Saudí y Rusia, ocasionando la caída en los precios del petróleo y afectando la economía global. Lo que está sucediendo en la actualidad en pocos días afectará los precios de prácticamente todos los productos consumidos de manera normal en toda la sociedad y es ahí cuando la mayoría de la población consumista empezará a hablar del aumento de los precios de la gasolina, la electricidad o los alimentos, porque afectará su economía inmediata, pero pese a estas excepciones, que se hablará mucho acerca de petróleo, la sociedad ignora los aspectos básicos de la energía, de dónde viene, cuánta consumimos y cómo podríamos usar eficientemente la energía que se ha convertido en algo que todos sabemos vagamente que es importante a nivel internacional pero que no somos conscientes plenamente de cómo afecta nuestra vida cotidiana y como cada uno de nosotros podría implementar medidas que hicieran que nuestra economía energética creciera sin necesidad de aumentar nuestra demanda energética y construir así una sociedad sostenible económica, social y ambiental.

El segundo paso es la conservación de los recursos energéticos, que debería tener un sentido más amplio que represente una gran relevancia para la transición de una economía energética sostenible ya puesta en marcha, pero con muchas deficiencias aún, porque aquí debemos entender y ser conscientes de que cuando hablamos de conservación energética, no solo significa que tengamos que utilizar menos energía, sino que debemos usarla de una manera más eficiente, hacer que la misma cantidad de energía nos proporcione la capacidad de abastecer nuestras necesidades por cada TWh que el mundo en general consume ahora y así podremos maximizar el beneficio en los países desarrollados, intentar implementar las mismas prácticas en los países en desarrollo, planificar la productividad energética prácticamente desde cero en los países subdesarrollados y ejecutar correctamente. En la actualidad en todo el mundo y en prácticamente todos los niveles de la sociedad, se desperdician grandes cantidades de energía todos los días. Nuestra población y nuestras condiciones económicas están superando la capacidad de abastecer nuestras necesidades energéticas y como ya se comprobó, las nuevas tecnologías energéticas renovables no podrán suministrar la misma energía que los hidrocarburos, provocando que la importancia y los progresos en la eficiencia energética será un componente absolutamente esencial en el futuro de la economía y la seguridad energética de las naciones.

Como sociedad debemos implementar medidas para la conservación energética para así comenzar a decrecer, que es el tercer paso, dejar de pensar de manera tradicional, al pensar que reducir el consumo energético es perjudicial para la economía y en lugar de eso deberíamos de usar la productividad energética como pilar para el decrecimiento energético, basado en la eficiencia energética, obteniendo más rendimiento económico utilizando menos energía, continuando con el desarrollo de las naciones, analizando cuánta energía efectiva consumimos, cuanta estamos derrochando y cuanta podríamos ahorrar a partir de medidas de conservación implementadas a nivel internacional. Es aquí el papel

fundamental que jugamos los ingenieros en desarrollar estas medidas de manera eficaz para que puedan ser implementadas en todo el mundo, porque aunque este tema es poco desarrollado, es posible que ante la necesidad de estas medidas de desarrollo sostenible estemos descubriendo gigantescos yacimientos de hidrocarburos ocultos en nuestra sociedad, ahorrando energía y produciendo más riqueza al introducir mejoras elementales y consecuentemente sofisticadas en los diferentes sectores energéticos. Se podría aprovechar un mercado extremadamente amplio y con una gran capacidad de potencial para construir una economía energética global sostenible a partir de la productividad y la eficiencia energética, aplicada en la sociedad hambrienta de energía, obteniendo los mismos e incluso mejores servicios utilizando menos energía y comprobando que podemos desarrollarnos con menos energía, pero mayor riqueza y como consecuencia mejor calidad de vida para la mayor parte de la sociedad.

Es fundamental conocer la incongruencia energética que ha desarrollado la sociedad respecto a la eficiencia energética, porque el beneficio de la eficiencia ha sido visto como una mayor oportunidad de obtener más productos que son más baratos y que consumen menos energía que los que existían hace 20 años. Paradójicamente, la eficiencia ha hecho que aumente el consumo energético a nivel mundial. Al hacer más eficiente la producción se disminuye el costo de los productos y así todos podemos obtenerlos con más facilidad, no sirve de nada que hayamos dejado de utilizar focos de 100 W si ahora usamos en su lugar más de 10 focos de 10 W, y pasa lo mismo con el transporte, las importaciones y exportaciones de bienes de consumo.

Debemos ser conscientes de que estamos viviendo en un mundo que se está desarrollando de una manera nunca vista, pero también debemos ser conscientes y tener la capacidad de comprender que las tendencias de nuestro consumismo nos pueden llevar al derrumbe de nuestra sociedad acostumbrada al derroche y a la abundancia energética. En términos generales esa tendencia también nos puede ayudar a comprender el futuro de la sociedad con los recursos energéticos actuales, calculando cómo vamos a abastecer al mundo de energía durante las próximas décadas decisivas para el futuro de la sociedad, porque para lograr un desarrollo energético sostenible se tiene que promover un crecimiento planificado, sostenido, inclusivo y equitativo, creando oportunidades de desarrollo energético para todos y así poder reducir las desigualdades, mejorando la calidad de vida de las personas pero promoviendo la ordenación integrada y sostenible de los recursos energéticos y los ecosistemas, que contribuyen al crecimiento económico y al desarrollo social y humano.

### 3.2 Conclusiones: Modelo Energético para el Desarrollo Sostenible.

Nos acercamos a una crisis energética mundial, donde las fuentes de energía renovable no podrán sustituir el suministro de la matriz energética primaria, porque dependen desde su desarrollo hasta su funcionamiento de las fuentes de energía fósil, no podemos vivir en un mundo basado en fuentes renovables cuando lo hemos construido a partir de energía fósil,

así que tendremos que dejar de pensar que las fuentes renovables de energía serán nuestra gran salvación. Sabiendo que la cuestión primordial a nivel mundial es la seguridad energética y el desarrollo económico, debemos tratarlo con mayor profundidad a partir de la realidad energética, de los recursos que tenemos y del desarrollo tecnológico, porque el desarrollo sostenible de la sociedad depende de la concientización mundial de que todos somos parte del problema y a su vez todos somos parte de la solución, con las decisiones que como ciudadanos tomamos día a día. Esas decisiones le darán forma al futuro, decisiones que van desde las grandes esferas políticas, gubernamentales, empresariales, industriales, académicas, científicas, sociales e institucionales, a nivel internacional se deberán tomar medidas de seguridad energética y desarrollo tecnológico trabajando en una senda optimista y en un horizonte más claro, donde todos trabajamos para el bienestar social pero también para el desarrollo de las futuras generaciones, creando soluciones realistas para el desarrollo de toda la sociedad.

El desarrollo de la productividad energética en todos los niveles de la sociedad y en todos los países será clave para el desarrollo sostenible desde la perspectiva económica, social y ambiental, y del progreso en general de la sociedad. Para aumentar la productividad energética se deben implementar reformas de eficiencia energética a nivel internacional, incentivando la modernidad y el ahorro energético para continuar con el desarrollo de nueva tecnología más sostenible, menos contaminante pero que continúe con el progreso de la sociedad, es decir, debemos aprender a hacer más con menos mejorando drásticamente la eficiencia energética y hacer una planeación estratégica a largo plazo para suministrar energía al mundo durante el próximo siglo, desarrollando innovación tecnológica y de diseño, construyendo infraestructura de ahorro y eficiencia energética en las grandes ciudades, implementando infraestructura inteligente con un diseño integrador que nos permita aprovechar las oportunidades comerciales de la sociedad moderna y así poder crear una nueva industria de eficiencia energética, actualizando lo viejo y rediseñando lo nuevo.

También es importante fomentar la innovación en el ámbito político y de comercio internacional, invirtiendo fondos para reducir la demanda energética, en lugar de aumentar la oferta, calculando los verdaderos costos energéticos y creando una economía energética que ponga en manifiesto la importancia de la implementación de la productividad energética, alcanzando el modo más eficiente posible, porque lo que ahora necesitamos son cambios disruptivos que nos den resultados diferentes a los que estamos acostumbrados a recibir, pensando en el beneficio de todos. Para cerrar quiero decir que como sociedad debemos reflexionar sobre lo que hay a nuestro alrededor y aprender a vivir exponencialmente, porque nos toca tomar en serio esta revolución energética, ya que estoy seguro que continuaremos creando soluciones de adaptación a los problemas existentes y del futuro, porque los riesgos económicos y energéticos que se plantean son para el mundo como lo conocemos en la actualidad, pero los resultados y el futuro en general están llenos de incertidumbre a la cual nos adaptaremos.

## Bibliografía y Referencias.

Brun, R. S. (n.d.). *Tercera Revolución Industrial*. 11–14.

Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. *Documentos de Las Naciones, Recolección de Un ...*, 416.

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>

IPCC. (2013). Preguntas frecuentes Cambio climático 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. In *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.

Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. 62301.

NU. (1970). *Estrategia Internacional del Desarrollo para el Segundo Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo*.

NU (Naciones Unidas). (1961). Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo: programa de cooperación económica internacional. In *Onu* (p. 2).  
<http://www.un.org/spanish/documents/ga/res/16/ares16.htm>

NU (Naciones Unidas). (1980a). *Estrategia Internacional del Desarrollo para el Tercer Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo*.

NU (Naciones Unidas). (1980b). Estrategia mundial para la conservación. In *Estrategia mundial para la conservación* (Vol. 2, Issue 1, pp. 91–96).  
<https://doi.org/10.15359/rca.2-1.10>

NU (Naciones Unidas). (1990). *Estrategia Internacional del Desarrollo para el Cuarto Decenio de las Naciones Unidas para el Desarrollo*.

NU (Naciones Unidas). (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. 61702.

NU (Naciones Unidas). (2000). Declaración del Milenio. *New York*, 55/2, 1–17.  
[http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1\\_Sp.pdf](http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf)

NU (Naciones Unidas). (2002). Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. In *Naciones Unidas: Vol. A/CONF.199* (Issue ISBN 92-1-304231-0).

NU (Naciones Unidas). (2012). *El futuro que queremos*.

NU (Naciones Unidas). (2015a). *Agenda de Acción de Addis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo*. 12674, 44. [http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares69d313\\_es.pdf](http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares69d313_es.pdf)

NU (Naciones Unidas). (2015b). *Convención Marco sobre el Cambio Climático: Aprobación del Acuerdo de París*. 21930. file:///C:/Users/W7/Desktop/ufc.pdf

NU (Naciones Unidas). (2015c). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. 16301(6), 7–10. <https://doi.org/10.32870/dgedj.v0i6.106>

OECD. (2018). *Uranium Resources , Production and Demand*.

ONU-HABITAT. (1972). Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano. *16 De Junio*, 1–4. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos Humanos/INST 05.pdf>

UNESCO. (2019). *Día Mundial de la Ingeniería para el Desarrollo Sostenible*.

Andrew McAfee, *The Second Machine Age. Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, W. W. Norton & Company, 2014

Asamblea General de Naciones Unidas, NY 2015.

Banco Mundial <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

BBC Mundo ¿Puede Europa vivir sin el gas ruso? 2014 [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140327\\_europa\\_alternativas\\_gas\\_rusia\\_amv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140327_europa_alternativas_gas_rusia_amv)

BP Statistical Review of Global Energy. 2019.

Calva José Luis. Ferrari Luca. *Crisis Energética Mundial y Futuro de la Energía en México*. Consejo Nacional de Universitarios 2012.

Campos Leticia. *El resurgimiento de la energía nuclear*. México. 2009. Siglo XXI editores.

Carta de Naciones Unidas 1945 Artículo 1.

Centros Nacionales de NOAA para Información Ambiental, Estado del Clima <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201907>

Cinco días. El país. Mercados. La OPEP prevé un rebote récord de la demanda petrolera en 2021. 2020.

Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, París 2015.

Donella H. Meadows. *Los límites del crecimiento*. Nueva York. 1972.

D. H. Meadows. D. L. Meadows. J. Randers. Más allá de los límites del crecimiento. Nueva York. 1992.

Global Footprint Network <https://www.footprintnetwork.org/>

Hannah Ritchie y Max Roser. 2019, "Producción de energía y fuentes de energía cambiantes". Publicado en OurWorldInData.org.

IEA Cumulative CO2 emissions avoided by global nuclear power.

Informe Brecha de Emisiones. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2019.

Informe de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, 2002.

J Murphy and S. Hall Year in review—EROI or energy return on (energy) invested Article in Annals of the New York Academy of Sciences 2010

Naciones Unidas. (1992). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Ocampo Edgar. Desarrollo Industrial 2050. Hacia una Industria del futuro. México 2020.

Prontuario Estadístico. Secretaria de Energía. 2019.

REN21. Renewables 2018. Global Status Report.

Scripps Institution of Oceanography. <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/2019/06/04/carbon-dioxide-levels-hit-record-peak-in-may/>

Shwab Klaus, The Fourth Industrial Revolution. Crown Business. New York. 2016.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, DVD Edition.

Vega Angel. Ramirez Jaime. El Gas de Lutitas (Shale Gas) en México recursos, explotación, usos, impactos.

World Energy Trade: Oil and Gas. <https://www.worldenergytrade.com/index.php/m-news-oil-gas/86-news-produccion/3640-ee-uu-ha-alcanzado-record-con-la-produccion-de-shale-oil-sin-embargo-el-90-de-las-empresas-operadoras-se-estan-descapitalizando>

World Energy Outlook 2015. International Energy Agency. France 2015.

WWEA World Wind Resource Assesment Report. 2014.