



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ENERGÍA

Reservas varadas, implicaciones del Acuerdo de París en la
extracción de combustibles fósiles en México

Tesis

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

René Francisco Rangel Sánchez

Director de Tesis:

Dr. Víctor Rodríguez Padilla
Facultad de Ingeniería

Ciudad de México, Agosto, 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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Escobedo Izquierdo M. Azucena

Secretario: Dr. Álvarez Watkins Pablo

1 er. Vocal: Dr. Rodríguez Padilla Víctor

2 do. Vocal: Dr. Romo Rico Daniel

3 er. Vocal: Dr. Ruíz Alarcón Fluvio César

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

TUTOR DE TESIS:

Dr. Víctor Rodríguez Padilla

FIRMA

Agradecimientos

A Dios por permitirme un logro más a mi vida, por mostrarme el camino que debo seguir y por siempre estar conmigo a pesar de las adversidades.

A mis padres, por ser pieza fundamental en este logro, gracias por sus palabras, motivaciones, regaños y enseñanzas nada de esto habría sido posible sin ustedes, siempre creyeron en mi y eternamente estaré agradecido. Los quiero.

A mi novia Valeria, por estar siempre a mi lado a pesar de las circunstancias y apoyarme cuando más la he necesitado, por tus consejos y por todas las experiencias que hemos vivido juntos. Te amo Valeria Reza.

Al Dr. Víctor Rodríguez Padilla, por compartir su conocimiento conmigo, su tiempo y apoyo para realización de este trabajo. Muchas gracias.

A mis primos, Nacho, Acha, César, por su apoyo, sus consejos, estar ahí cuando los necesito y sobre todo por que más que mi familia los considero mis hermanos.

A mis suegros por el apoyo que me han dado, la confianza mostrada, los consejos y las motivaciones.

A mis amigos de la universidad, en especial a Hugo Enríquez, por nuestra larga amistad, por las noches de estudio y por el apoyo siempre mostrado hacía mi persona.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial al Posgrado de Ingeniería, por la oportunidad las enseñanzas, aprendizajes y experiencias adquiridas.

Índice

ÍNDICE	4
RESUMEN	7
ABSTRACT	7
PALABRAS CLAVE	8
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1: RESERVAS DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN MÉXICO	24
1.1 Reservas	24
Carbón	25
Petróleo.....	27
Gas	31
1.2 Gases de efecto invernadero.....	34
Metano (CH ₄)	35
Oxido de nitrógeno (N ₂ O).....	35
Gases fluorados	35
Dióxido de carbono (CO ₂).....	36
Conclusiones	40
CAPÍTULO 2: EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL	41
Evidencias del cambio climático y el calentamiento global.....	42
Aumento de la temperatura terrestre	42
Calentamiento de océanos	43
Derretimiento de glaciares	43
Disminución en el recubrimiento de nieve	43
Aumento en el nivel del mar.....	43
Situaciones extremas.....	44
Acidificación del PH de lagos y océanos	44
Causas.....	44
2.1 Cambio climático.....	44
2.2 Calentamiento global	48
Efecto invernadero natural de la Tierra.....	49
Efecto invernadero por causas antropogénicas.....	50

Conclusiones	51
CAPÍTULO 3: ¿QUÉ SE HA HECHO PARA COMBATIR EL CCCG?	52
Conferencias y grupos de análisis	52
Cronología de las conferencias sobre el cambio climático	52
(1972) Conferencia de Estocolmo.....	52
(1988) IPCC	53
(1992) Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.....	53
(1995) COP1 – Mandato de Berlín.....	54
(1996) COP2 – Ginebra	54
(1997) COP3 – Kioto.....	55
(1998) COP4 – Buenos Aires.....	55
(1999) COP5 – Bonn.....	55
(2000) COP6 – La Haya.....	55
(2001) COP7 – Marruecos	56
(2006) COP12 – Kenya.....	56
(2007) COP 13 – Bali	56
(2008) COP14 – Poznán.....	57
(2009) COP15 – Copenhague	57
(2010) COP16 – Cancún.....	58
(2011) COP17 – Sudáfrica.....	58
(2012) COP18 – Qatar	58
(2013) COP19 – Polonia	58
(2014) COP20 – Lima	59
(2015) COP21 – París.....	59
(2016) COP22 – Marrakech	59
(2017) COP23 - Alemania.....	60
(2018) COP24 – Polonia	60
(2019) COP25 – Santiago de Chile.....	61
Protocolo de Kioto.....	61
Países participantes.....	62
Estados Unidos.....	62
Unión Europea	63
Canadá.....	63

Protocolo de Kioto 2.0.....	63
Acuerdo de París.	66
Conclusiones	68
CAPÍTULO 4: IMPLICACIONES PARA LOS COMBUSTIBLES FÓSILES EL LÍMITE DE 2°C DE AUMENTO DE TEMPERATURA.....	69
Producción de dióxido de carbono (CO ₂)	69
Factor de equivalencia.....	71
Consideraciones	75
Línea base	77
Escenarios de mitigación de hidrocarburos	78
Escenario compromiso	80
Escenario más ambicioso	82
Estimación económica de las reservas a dejar en subsuelo o a exportar	85
CAPEX.....	89
Escenario compromiso – CAPEX	89
Escenario más ambicioso - CAPEX.....	90
Conclusión	91
CAPÍTULO 5: ¿QUÉ IMPLICACIONES TENDRÍA LA RENUNCIA A EXTRAER UNA PARTE DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES REMANENTES EN EL SUBSUELO?	93
Implicaciones en el acervo de combustibles.....	93
5.1 Resultados por escenario	93
5.2 Resultados por combustible.....	99
Carbón y coque de carbón.....	99
Aceite crudo y petrolíferos	100
Gas natural y condensados	101
5.3 Implicaciones técnicas	101
Implicaciones económicas	103
Conclusiones	105
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS	109
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	113

Resumen

La producción y consumo de combustibles fósiles es la actividad productiva que más contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático y el calentamiento global. En esta investigación se analiza el comportamiento que debería de observar la producción de petróleo, gas natural y carbón para cumplir con el compromiso de México en el Acuerdo de París. Se establecen dos escenarios: en el primero escenario (escenario compromiso) se mantiene constante el peso relativo de cada combustible en la oferta de energía fósil en el año base de la estimación 2019. El segundo escenario (escenario más ambicioso) supone el remplazo paulatino de petróleo por gas natural para aprovechar las ventajas ambientales de este último. Concluimos que en el escenario compromiso se tendrían que dejar de producir 1,029 millones de barriles de petróleo crudo equivalente de reservas probadas y, en el segundo escenario, 1,337 millones de barriles. El valor de esas reservas varadas asciende a 43,320 millones de dólares en el escenario compromiso con un valor de 41.2 dólares por barril de petróleo. Y a 56,287 millones de dólares en el escenario más ambicioso.

Abstract

Due to changes in terrestrial temperature in recent years, there have been effects on the ecosystem; causing natural disasters: extinction and migration of species, changes in the sea level, growing up the intensity of hurricanes and tropical storms, rains in areas of drought, drought in forested areas, etc.

Resulting in a decrease of livestock and agriculture, thus generating a shortage of raw materials and a negative impact for the economy.

In this research work, the accounting of the production history in Mexico of the three main hydrocarbons (gas, crude oil and coal) that generate greenhouse gases (GHG) was carried out. Two mitigation scenarios were proposed in order to reduce the production of hydrocarbons in Mexico without affecting its economy, which, a large part of its income has been from oil revenues. In the first scenario, crude oil production was considered to be constant as it has been for the last 100 years, the

second scenario being an assumption of a decrease in crude oil and an increase in natural gas due to the historical production of the last decades , because this hydrocarbon is the least polluting of all and that as energy it has shown great efficiency in cogeneration plants for electricity generation in the country, as well as in the automotive industry, which over the years has demanded a large amount of petroleum derivatives and that it is in a process of transformation adopting the electricity supply leaving behind internal combustion.

An annual production figure is reached for each hydrocarbon, with which, if Mexico reduces production to that figure, compliance with the Paris agreement will be guaranteed.

Palabras clave

Acuerdo de París México, calentamiento global, gases de efecto invernadero, renuncia voluntaria a los hidrocarburos, reservas varadas.

Introducción

La problemática en este tipo de estudios es que como tal no existen, al ser un país exportador de hidrocarburos los temas que han generado controversias y son de importancia para el gobierno, son ingresos anuales brutos y ganancias. El gobierno, no se ha detenido a realizar análisis a cuanto aumentará la temperatura en México si se explotan los yacimientos hasta "la última gota" reservas que existen de estos combustibles fósiles, son reservas de dinero y CO₂, por lo que no solo estamos extrayendo dinero del subsuelo estamos extrayendo contaminación, aumento de temperatura, extinción de especies, desastres naturales como: ciclones, tormentas tropicales, lluvias en épocas del año donde hasta hace años no había, nieve en zonas desérticas, frío en zonas tropicales.

Este estudio de tesis promete dar respuesta sobre la producción necesaria de hidrocarburos y fuentes de energía provenientes de los fósiles, para mantener los niveles de CO₂ en niveles óptimos para la supervivencia y preservación del ecosistema.

La originalidad de este estudio de tesis a nivel maestría reside en que no existe dicho estudio a nivel nacional y como se ha comentado con anterioridad, no podemos seguir a ciegas como país, y como sociedad debemos ser lo suficientemente maduros y responsables para dejar a un lado los intereses financieros y políticos y abrir paso a la preservación ecológica en pro del cuidado ambiental, sin afectar la seguridad energética del país. No se trata de dejar de producir arbitrariamente, se trata de hacer un análisis de calidad y sobre todo crear regulaciones y normas en contra de las empresas y paraestatales que estén contaminando a diestra y siniestra sin pensar en las repercusiones sociales de sus acciones en concreto.

Es momento de apoyarnos de la ciencia y la tecnología para la creación de energía limpia que no contamine, que no dañe, que sea eficiente, que sea continua y no intermitente, que sea segura y que genere seguridad energética. De nada sirve un proceso que sea caro e ineficiente si podemos actualizar los ya existentes o regularlos para que operen con rigurosos estándares a favor de reducir los contaminantes que emiten.

Existen métodos de los cuales aún queda mucho campo de investigación y de implementación. Un claro ejemplo es el caso de la captura y secuestro de CO₂ la cual consiste en capturar el dióxido de carbono de la atmósfera y mediante procesos industriales volver a solidificar el carbón que está en modo gaseoso en la atmósfera, con la finalidad de no tener todo ese carbón en superficie en estado gaseoso esperando ser respirado por una persona o que este no permita la salida de los rayos UV haciendo un efecto invernadero creando un aumento del calor en una determinada área.

Problemática

En la actualidad los gases de efecto invernadero han contribuido a aumentar significativamente la temperatura global, esto ha derivado un sinnúmero de cambios aunados a este incremento de temperatura: extinción de especies, cambios en la

vegetación, lluvias en épocas del año distintas a las habituales y lluvias en zonas que no solía llover, deshielo de los casquetes polares, sequía en lugares donde predominaba la vegetación, migración de especies, entre otros problemas relacionados con el creciente aumento de los gases de efecto invernadero y la temperatura.

La investigación señala que las 200 empresas que cotizan en bolsa y que fueron analizadas poseen en conjunto 762 000 millones de dólares en dióxido de carbono (CO₂) contenidas en de sus reservas de carbón, petróleo y gas, con acciones que ascienden a 4 billones de dólares y deudas corporativas pendientes de pago por valor de 1,5 billones de dólares. Para lograr una reducción de emisiones que permita cumplir el objetivo de los 2 °C con un 80 % de probabilidad, las reservas de combustibles fósiles de estas empresas cotizadas tendrían que ajustarse a un presupuesto que oscile entre 125 000 y 275 000 millones de toneladas de CO₂, lo que equivale a la cuarta parte de las reservas que poseen.

La principal causa de los GEI es el uso de combustibles fósiles en el transporte, la generación de energía eléctrica, la industria, el comercio, los servicios y los hogares.

Hablando en términos de química básica, toda combustión siempre va a traer como resultado dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), y aunque exista la misma cantidad de comburente, existen ciertos combustibles fósiles que generan más dióxido de carbono (CO₂) y gases de efecto invernadero que otros tal es el caso del carbón y el cual produce muchos más kg de CO₂ que el gas natural convencional y el petróleo crudo.

Investigaciones precedentes

¿Cuál es la cantidad de petróleo, gas natural y de carbón que se podría extraer para no elevar más de 2.0 °C y cumplir con el acuerdo de París? De ahí la importancia de hacer una investigación para visualizar. En otras palabras, ¿cuantas toneladas de CO₂ están aún en el subsuelo como reservas? ¿cuanto consumimos anualmente y cuanto se producen acto derivado del consumo de combustibles fósiles?

Existen fuentes de información¹ que tienen desde hace tiempo ya definido cuantos kilogramos de dióxido de carbono producen una unidad de barril de aceite crudo, un metro cúbico de gas natural e inclusive la cantidad de dióxido de carbón que generan los diversos tipos de carbón que existen en *gigajoules* (GJ).

Preguntas centrales de investigación

- ¿Cuántos combustibles fósiles se tendrían que dejar en el subsuelo para no rebasar el aumento de temperatura en 2°C?

A pesar de que se hace la contabilidad de las reservas que tiene un país, las cifras que manejan los encargados de la realización de estos estudios consideran únicamente el valor volumétrico dejando a un lado las externalidades que surjan al ser extraídas estas reservas del subsuelo.

Una de dichas externalidades es la emisión de GEI que contribuye sustancialmente al cambio climático y al calentamiento global.

Extraer carbón, petróleo y gas natural del subsuelo es equivalente a extraer dióxido de carbono del subsuelo para colocarlo en la atmósfera con nefastas consecuencias sobre el ambiente.

- ¿Qué volumen tendría que dejar México de producir?

Para responder a esta pregunta, se partirá del límite establecido por el acuerdo de París el cual consiste en no aumentar 2°C la temperatura, posteriormente se hará el análisis de el equivalente en toneladas de dióxido de carbono (CO₂) obteniendo su equivalente volumétrico (barriles de petróleo, pies cúbicos de gas y toneladas de carbón) con la finalidad de establecer el volumen máximo permitido de producción anual de hidrocarburos en México.

- ¿Cuánto carbón se tiene que dejar de producir?

Se tiene que hacer especial énfasis en este aspecto debido a que el carbón es el principal emisor de dióxido de carbono entre combustibles fósiles.

- ¿Cuánto petróleo se tiene que dejar de producir?

El volumen de petróleo que se debería dejar en el subsuelo para no rebasar los 2 grados de temperatura es un tema de la mayor relevancia para México por la importancia que tiene el ingreso petrolero en las finanzas públicas, el cual alcanza alrededor del 15% del presupuesto público². Por lo que cualquier variación en este aspecto tiene grandes repercusiones en ámbitos sociales, económicos y políticos para México.

- ¿Cuánto gas natural se tiene que dejar de producir?

El gas natural es el hidrocarburo menos contaminante con el cual se logra mayor eficiencia en la generación de electricidad³, superando y por mucho la eficiencia de los reactores nucleares los cuales con anterioridad fungían como las principales centrales eléctricas de mayor eficiencia. Por lo que, si se tiene que reducir la producción de hidrocarburos, lo que menos se debe reducir es la producción de gas natural.

Hipótesis

La hipótesis de esta investigación es que México requiere reducir no sólo el consumo sino también la producción de combustibles fósiles si quiere cumplir debidamente con el Acuerdo de París.

La producción de combustibles fósiles en México está llegando a un límite peligrosamente alto en la emisión de gases de efecto invernadero y esta a su vez tiene repercusiones en el calentamiento global. Es por esto que México debe reducir el volumen de producción de combustibles fósiles si quiere cumplir debidamente con el acuerdo de París.

México ha fungido como uno de los principales productores de hidrocarburos en el mundo y esto debido a grandes yacimientos que se descubrieron en el siglo xx. Como consecuencia México ha basado su economía en la extracción de aceite crudo lo cual genera una repercusión cuando al haber cierto déficit en la producción

de hidrocarburos, lo que a su vez conlleva a un grave impacto para su economía, por lo que para efectos de este trabajo de investigación, se buscará establecer un equilibrio entre lo social, ambiental, político y económico teniendo como principal objetivo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El calentamiento global es una cuestión que nos afecta a todos los individuos de un ecosistema. Es por esto que todos debemos estar conscientes de esta gran problemática para así buscar mitigarla con la creación de programas de concientización y modificación de acciones.

En general, se darán cifras específicas como máximos de producción entre el carbón, aceite crudo y gas natural, con base en los históricos de producción y en el balance nacional de energía, para así cumplir con el acuerdo de París y no rebasar ese límite de los 2°C que es tan preocupante a nivel mundial sin dejar a un lado el tema de seguridad nacional ni la reducción del producto interno bruto (PIB).

Objetivo general

El objetivo general de la tesis consiste en estimar la cantidad de combustibles fósiles que México debe dejar en el subsuelo para cumplir con su contribución a la meta de no rebasar la temperatura global en 2°C, y lo que esta renuncia voluntaria significaría en términos de valor económico, social y político.

Justificación

México, como otros países, tienen la responsabilidad de realizar un estudio sobre la cantidad de CO₂ que va a llevar del subsuelo hacia la atmósfera.

Algunos países desarrollados ya se han dado a la ardua tarea de contabilizar sus reservas y establecer una cifra máxima de producción de combustibles fósiles. Aunque es verdad que los países primermundistas con anterioridad han utilizado como principal fuente de energía el carbón, hoy en día es algo que se debe erradicar y promover en los países en vías de desarrollo, y a pesar de que existen países que por cuestiones de bajo PIB, no tienen el capital para invertir en una central nuclear o en un ciclo combinado, optan por las centrales carboeléctricas como método de

generación de energía eléctrica de bajo costo. Estos países deben optar por fuentes de energía más limpia y solamente utilizar centrales de carbón como última medida.

De igual forma los avances tecnológicos han creado la posibilidad de generar energía eléctrica mediante fuentes de energía renovable sin importar que no toda la energía de un país podrá generarse con fuentes de energía renovables, debido a sus bajas eficiencias, su variabilidad, escasa eficiencia y baja densidad energética. Al poner en práctica estas sugerencias es casi un hecho que se reducirá considerablemente la emisión nacional de cada país que opte por este sistema de generación energética.

Justificación, valor, relevancia y originalidad de la investigación

La relevancia y originalidad de esta investigación reside en, primero: es de suma importancia debido a que debemos tener una contabilidad de las reservas que tenemos tanto en energético como en dióxido de carbono (CO₂), el país debe tener en mente que al momento de extraer un litro de aceite crudo esta extrayendo cerca de 3 kilogramos de dióxido de carbono; segundo, en un proyecto se hacen análisis de los costos implícitos de operación, ganancia, rentabilidad, etc. pero se dejan a un lado las externalidades como son: la contaminación del ambiente, extinción de animales, daños en la salud de la población en su alrededor; tercero, no solo es necesario generar energía eléctrica de bajo costo sin omitir si este es altamente contaminante o amigable con la ecología, deben existir normas y regulaciones contra los desechos tóxicos, gases venteados, derrames accidentales y en general se deben de considerar aquellas externalidades que hoy en día contribuyen al cambio climático.

Definición de los conceptos clave

En esta investigación utilizaremos algunos conceptos que conviene clarificar. El primero de ellos es el de sustentabilidad. Se dice que una sociedad es sustentable cuando logra generar energía, servicios y bienes sin tener una declinación en su productividad, teniendo un desarrollo creativo, innovador y concientizado para

buscar alternativas a las insuficiencias que se lleguen a presentar en un futuro cercano y en las nuevas generaciones, lamentablemente no se puede hablar que vivamos en un mundo sostenible debido a que se está consumiendo más de lo que se produce.

Una ciudad se considerará sustentable, cuando cambia su pensamiento lineal a un sistema circular de mantenimiento el cual pretende que el producto final vuelva a la inicial para mantenerse en continua producción. Cuando se comporta como un ecosistema cerrado, esto quiere decir sin, externalidades negativas que afecten o retraigan el ciclo productivo, satisfaga las necesidades básicas y no tan básicas de la población elevando su bienestar y sin afectar su futuro, dando soluciones ingeniosas a la problemática que llegue a suscitarse con la finalidad de crear sistemas paralelos los cuales mantengan el correcto funcionamiento cíclico, promoviendo la participación ciudadana, creando transparencia y creando resiliencia para reducir la vulnerabilidad contra factores externos que intervengan con nuestro ciclo sostenible.

La sustentabilidad es un tema que ha cobrado fuerza en las últimas décadas debido al déficit de productos y servicios básicos aunado a un aumento poblacional de orden exponencial, el cual ha motivado de forma indirecta a mantener cierta productividad, bienes y servicios con la finalidad de mantener un estilo de vida para la población.

Por lo que para motivos de investigación se definirá la sustentabilidad como la continua producción de energía basándose en fuentes de energía renovables y/o de bajo impacto ambiental, los cuales promuevan una disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

Otro concepto clave es el de desarrollo. Se puede hablar de que existe desarrollo en una sociedad cuando ha modificado ciertas acciones y actitudes con la finalidad de tener un crecimiento el cual puede ser en temas de: economía, ecología, humanidad, etc.

Para fines de esta investigación se definirá el desarrollo como la capacidad de modificar y sustituir las actuales fuentes de energía que en su mayoría son fuentes de combustible fósil por fuentes de energía amigables con el ecosistema y de bajas emisiones de dióxido de carbono.

Como medio de justificación se utilizará esta definición debido a que en la actualidad los métodos que se utilizan para la producción de energía eléctrica están teniendo un alto impacto en el ecosistema entonces se parte de lo que tenemos para desarrollar nuevos sistemas de fuentes de energía y sobre todo potenciar las fuentes de energía renovables con la finalidad de mantener el balance nacional de energía y a los consumidores con las mismas tarifas y volúmenes de consumo eléctrico, pero con la característica de disminuir considerablemente los gases de efecto invernadero.

A manera de resumen, se esta viviendo una transformación tanto tecnológica como ambiental, el planeta nos ha estado manifestando una inconformidad sobre la cantidad de CO₂ que se presenta en la atmósfera. Es por esto que hoy gracias a la tecnología es más rentable la generación eléctrica con paneles fotovoltaicos o turbinas eólicas los cuales nos dispondrán de la combustión para desplazar un embolo pistón para crear energía cinética y posteriormente hacerla energía eléctrica, sino que por el contrario aprovecharemos la energía que el mismo planeta emana creando así un sistema eléctrico el cual provenga plenamente de la misma naturaleza.

Procedimiento de investigación

Con respecto al procedimiento de investigación, en primer lugar se buscará información sobre el historial de producción y de reservas de los principales combustibles fósiles tomando como muestra un periodo de producción de 10 años comenzando de 2008 a 2019. Una vez obtenidos los datos se realizarán las gráficas de producción y de reservas de cada uno de los combustibles. Se dividirán en 3 grupos principales: petróleo, gas natural y carbón, dando una breve introducción de

cada combustible fósil y cuales son sus características individuales; posteriormente se realizará el cálculo de cuanto se produce en kilogramos de CO₂ por barril (aceite), pie cúbico (gas) y gigajoules (carbón). Una vez tenido el factor de conversión de cada hidrocarburo se crearán las gráficas de producción y consumo anual y reservas probadas de dióxido de carbono CO₂, con la finalidad de visualizar la enorme cantidad de reservas de CO₂ en el subsuelo y ver las toneladas que se producen y consumen anualmente.

Después, se detallará que es el calentamiento global y el cambio climático, ¿porque este es un problema que nos afecta a todos? y ¿porque la importancia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero? Se darán ejemplos puntuales de los principales fenómenos naturales que se producen debido a este aumento de temperatura y como es que este ha afectado tanto al ecosistema como a la flora y fauna de ciertas regiones que son más susceptibles a estos cambios.

Posteriormente se hará una recapitulación de las principales acciones que se han hecho alrededor del mundo contra la lucha del cambio climático y calentamiento global. Se analizarán individualmente cada una, dando una breve introducción sobre la historia de estas y comparando mediante tablas el protocolo de Kioto y el acuerdo de París que con todo rigor fueron los pioneros en establecer reglas y normas contra el aumento de temperatura. Se detallará en que consiste tal protocolo y tal acuerdo, cuales son los aspectos principales y como es que puede ser adoptado por cualquier país en el mundo. De igual forma se analizarán grupos activistas y conferencias que hayan creado gran impacto relacionados con este tema con la clara intención de tener un panorama más amplio y sobre todo crear un protocolo 100% aplicable en México.

Acto seguido, se hará un profundo análisis sobre el impacto que se tiene al utilizar combustibles fósiles como medida de generación energética y eléctrica, que tanto porcentaje aumenta la temperatura la sobre utilización de estos combustibles y como el dejar de utilizarlos haría un ambiente más limpio y de reducción de

temperatura; logrando así cifras fidedignas sobre un doble propósito al dejar de utilizar los combustibles fósiles, tanto para la disminución de dióxido de carbono en la atmosfera como para la disminución de temperatura. Con información de otras fuentes y tablas de conversión entre toneladas de CO₂ emitidas y grados centígrados aumentados, se hará un estimado del volumen que México tendrá que renunciar y dejar de producir, en cuestión a aceite crudo, gas natural y carbón, para cumplir esta marca como parte del acuerdo internacional.

Este esfuerzo de renunciar y limitar la producción a cierta cantidad anual no solo es un deber de México, sino que se comparte con los principales productores de hidrocarburos en el mundo. Entonces se tendrán que dividir esfuerzos con la finalidad de que exista un limite de barriles de petróleo, pies cúbicos de gas y toneladas de carbón, que se podrán extraer del subsuelo por todos los países en el mundo.

Lo siguiente que se realizará, será ver que porcentaje de CO₂ y gases de efecto invernadero emitimos a diferencia de otros países y en que lugar nos posicionamos y así lograr ver como los demás países han pasado de ser grande emisores de estos gases, con la finalidad de copiar sus acciones y aplicarlas en México con la final intención de reducir estas emisiones y posicionarnos a nivel internacional como un país que esta tomando acciones en contra del cambio climático a favor de la conservación humana.

Se verá en que consiste el compromiso que existe por parte de México para reducir mundialmente la emisión de gases de efecto invernadero, las acciones que se deben de tomar y proponer nuevas medidas para lograr el cumplimiento de estas normas y objetivos en territorio nacional.

En esta misma sección se verán los esfuerzos que México tiene que realizar para no rebasar el límite de los 2°C, en aspectos tanto sociales como económicos. Los simuladores que existen actualmente han mostrado que en los últimos 100 años ha

existido un aumento de temperatura entre 1°C y 1.5°C lo cual se aproxima al límite establecido de los 2°C y estas cifras no representan una catástrofe mundial o el fin de la humanidad, sino porque no se puede predecir que sucederá al rebasar este límite. En la actualidad no hay científico ni simulador que pueda describir con certeza las consecuencias de este hecho, se supone que en esta situación se llega a un punto sin retorno en el cual las consecuencias pueden ser irreversibles y nocivas para la vida humana. Existe una gran incógnita de lo que sucedería al rebasar el límite por lo que se tiene el compromiso de disminuir las emisiones de GEI.

Para finalizar, se dará un estimado por energético de la cantidad que deberá de quedar en subsuelo, así como hacer una revisión de cuales son las zonas económicamente inviables, por ejemplo: *shale gas*, *shale oil*, aguas profundas y ultra profundas, por nombrar algunas las que resultan ser más complejas y económicamente menos inviables para la obtención de estos hidrocarburos por los que serán los primeros en dejarse en el subsuelo. Por otro lado, se buscará cuales son de bajo riesgo, costo e inversión para ser una opción económicamente viable de producción con la finalidad de cumplir con el mínimo permitido y no afectar la economía del país.

En el último capítulo se realizará un análisis de cuanto flujo de efectivo se deja de percibir monetariamente hablando al renunciar voluntariamente. Al renunciar de forma voluntaria habrá un déficit de ingresos económicos en lo que un sustituto gana fuerza y actividad en lo que hoy se genera con los combustibles fósiles.

Se analizará también la mejora de calidad del aire, así como las disminuciones que exista en la temperatura terrestre.

Objetivos Particulares

- Investigar el volumen de reservas que aún quedan en el subsuelo de México para así poder realizar un estimado de lo que se debe producir anualmente para cumplir con el tratado de París.
- Exponer que el calentamiento global en México es un problema grave y las secuelas pueden ser irreversibles si no se realizan acciones efectivas e inmediatas.
- Analizar las tendencias internacionales de emisiones de CO₂.
- Analizar las implicaciones tienen los combustibles fósiles respecto al calentamiento global, así como dar cifras precisas sobre la producción nacional del país en términos monetarios y volumétricos.
- Se propondrá un modelo de producción el cual no afecte tan radicalmente la economía del país, pero si beneficie el ecosistema.
- Comparar la situación actual y la situación planteada en comparación con los demás países que emiten GEI.

Alcance

En este trabajo de investigación se pretende realizar una concientización social del gran impacto ambiental que se tiene al extraer los hidrocarburos y enviarlos a la atmósfera.

Es de gran importancia el conocimiento de esto ya que en las ultimas décadas el planeta ha experimentado una etapa de calentamiento y nos ha dado muestras de esto. Es momento de renunciar voluntariamente a nuestras reservas petroleras con la finalidad de preservar la humanidad y combatir el calentamiento global que nos afecta a todos.

Para cualquier economía, el hecho de renunciar a un bien material o a una fuente de riqueza es visto de manera poco realista pero hoy en día y gracias a la tecnología los avances en otros campos hacen de esto una realidad. Es momento de fomentar una producción de energía basada en fuentes renovables con la finalidad de seguir preservando la vida humana.

Metas

- Contabilizar la cantidad de combustibles fósiles a los que se tendrá que renunciar para no rebasar el aumento de temperatura en 2°C así como la cantidad de carbón, petróleo y gas natural.
- Caracterizar las reservas que aún quedan en el subsuelo, los recursos y las reservas.
- Demostrar las razones por las que se tiene que luchar contra el fenómeno del cambio climático.
- Señalar la participación que tiene México en el GEI.
- Puntualizar que repercusiones se tendrá en el país tras esta renuncia.

Metodología

Se mostrará un breve panorama de la situación actual del país, las reservas con las que se cuenta. Se tomará para efectos de esta investigación la producción de México comprendido entre los años 2008 a 2018. Se calculará la producción a la que se debe llegar la cual satisfaga el límite de emisiones de gases de efecto invernadero y así no rebasar el límite de temperatura impuesto por el acuerdo de París.

Descripción de los capítulos de la tesis

La idea central de la tesis es calcular un aproximado del volumen que México tiene que dejar de producir, es decir, dejar este volumen de hidrocarburos en el subsuelo debido a que cuando este entra a superficie terrestre y es combustionado, genera dióxido de carbono el cual contribuye sustancialmente al aumento de la temperatura en la atmósfera.

En el capítulo uno, a manera de introducción, se detallará el volumen de reservas con las que cuenta el país en términos de probadas, probables y posibles, de los combustibles fósiles en México. Existe un factor preestablecido por el IPCC el cual nos hace referencia a la equivalencia de cada combustible fósil en términos de toneladas de dióxido de carbono, aunque para efectos de esta investigación se propondrá un nuevo factor de conversión el cual sea aplicable específicamente en México con las propiedades específicas de los hidrocarburos.

En el capítulo dos, se plasmará la temática y se indagará en la teoría de el calentamiento global y el cambio climático, dando una breve introducción de que es, a que se refiere, y porque es tan importante para México y sobre todo la importancia de no rebasar esos 2 grados centígrados.

En el capítulo tres se verá un comparativo entre los principales grupos y comunidad internacional en temas de cambio climático y calentamiento global, una breve introducción de su historia, que han hecho por concientizar a la humanidad y cuales son sus principales métodos y avances.

Para el cuarto capítulo se expondrán los cálculos sobre la cantidad de CO₂ que generan ciertos barriles o volúmenes de hidrocarburos con la finalidad de visualizar cuanto se tendrá que ir a exportación para no sobrepasar la meta impuesta por el acuerdo de París. Así sea una cifra abismal debemos tener en cuenta que si en los años venideros se llega a esta cifra corremos el riesgo de sobre pasar el límite y crear una catástrofe para la humanidad.

Sobre el capítulo cinco se mostrará un comparativo entre México y los demás países que participan de manera negativa en la emisión de GEI, así como el compromiso que México tiene para la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera en función a lo que establece el acuerdo de París. Se detallará si se esta cumpliendo de acuerdo a lo que

se ha venido haciendo en México o en que aspectos debe existir una mejora en función a dar cumplimiento a estas políticas.

Sexto se detallarán cuales serán los cambios que existirá al renunciar de manera voluntaria a una entrada de efectivo al país y cuales son las recomendaciones a las que llega este trabajo.

Capítulo 1: Reservas de combustibles fósiles en México

Introducción

Para el primer capítulo de esta tesis se analizará la clasificación de las reservas de hidrocarburos del país, con la intención de mostrar la cantidad de hidrocarburos que posee México y las cuales pueden ser llevadas a la superficie. Así como mostrar cuales son las características principales de cada hidrocarburo a nivel molecular y porque es importante saber que tipo de aceite crudo se esta extrayendo.

Se mostrará el tamaño de las reservas de cada hidrocarburo y lo que representa con respecto a los demás combustibles fósiles, con la finalidad de proponer un escenario de extracción en capítulos posteriores.

1.1 Reservas

Existen diversos tipos de combustibles fósiles tales como el carbón, gas y petróleo:

Las reservas de hidrocarburos se catalogan en tres principales grupos, reservas probadas (1P), reservas probables (2P) y reservas posibles (3P)⁴.

Las reservas probadas (1P) se refiere a reservas que ya han sido descubiertas y en la actualidad están siendo explotadas y a lo largo del tiempo se han ido delimitando con un grado de incertidumbre menor al 10%. En otras palabras, se tiene una certeza del 90% del volumen del cual se ha delimitado y caracterizado respecto a el yacimiento.

Las reservas probables o reservas (2P) contemplan un grado de incertidumbre de hasta el 50%, esto quiere decir que se tiene una basta idea del volumen del yacimiento, pero aún no se ha comprobado, son reservas que se han ido caracterizando con estudios previos y que aunado a las reservas 1P (probadas) dará lugar a una magnitud mayor en el volumen de un yacimiento.

Las reservas posibles o reservas (3P) da lugar a la suma de las reservas 1P (probadas) + reservas 2P (probables). Estas tienen un grado de certidumbre de al menos 10% lo cual representa un grado de incertidumbre muy alto y por lo cual no deben ser tomadas en cuenta para estudios.

En el periodo comprendido entre 2001 a 2017 las reservas de hidrocarburos en México han tenido una considerable disminución. Esto se debe a diversos factores, entre los cuales están: disminución de presupuesto en la exploración de nuevos yacimientos de hidrocarburos, declive de reservas debido a la producción de las mismas, reservas posibles que no se consolidaron debido a la alta incertidumbre, falta de éxito, menores hidrocarburos descubiertos por pozo en general, frente la avanzada madurez geológica y otros factores que modifican los valores reales a los teóricos.

Carbón

El carbón es un combustible con forma de roca de color negro o café oscuro. Este fue formado hace millones de años antes cuando helechos, plantas y arboles murieron y se depositaron en pantanos. Las condiciones del pantano previnieron que se desintegraran por completo y a través de millones de años y con una intensa presión y calor fue transformado a lo que hoy conocemos como carbón.

El carbón fue el primer combustible fósil que utilizó el hombre como fuente de generación energética⁵. Se comenzó a comercializar con este combustible en el siglo xvi debido al déficit de biocombustible (leña) que se empleaba en ese momento.

Posteriormente de esta transición entre la leña y el carbón, surgen grandes avances tecnológicos. Entre lo más destacable están: la máquina de vapor; creada por Herón de Alejandría. En la actualidad, el carbón representa el 70% de las reservas de combustible fósil a nivel mundial y a la fecha sigue siendo una fuente primordial de energía en las plantas de generación eléctrica, claro ejemplo de esto es la República Popular de China.

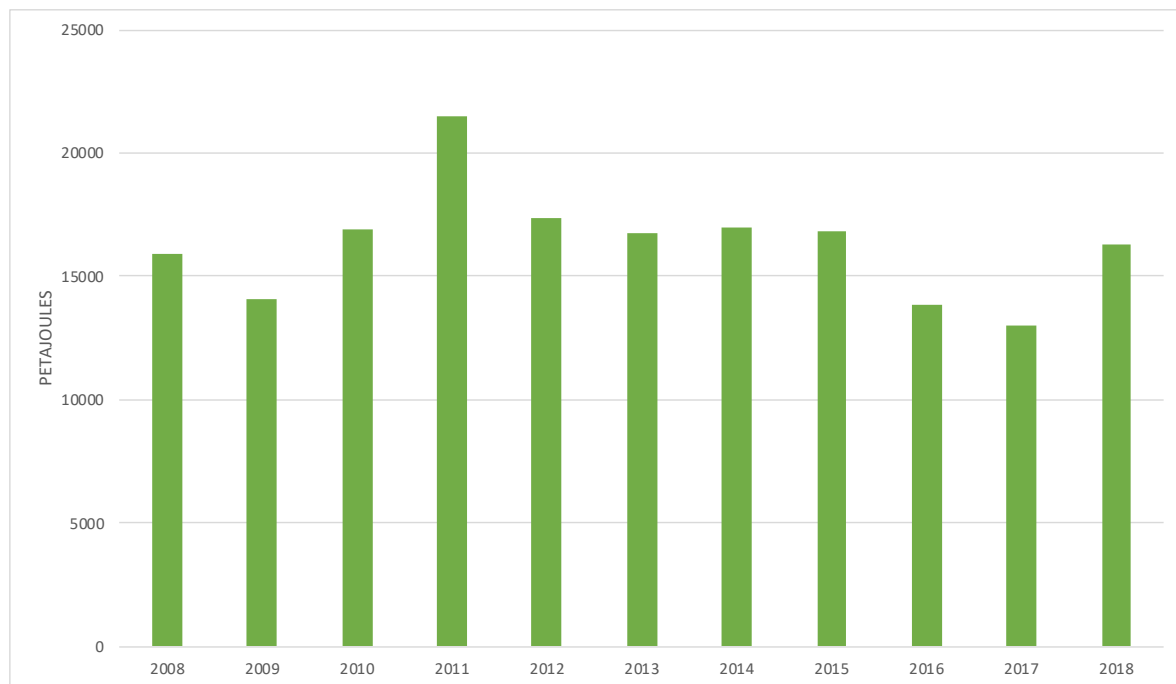
Existen diversas clasificaciones para el carbón, en función de que tan limpio y versátil se vuelve para su uso⁶:

- Carbón lignito (25% - 35% de carbón): Este tipo de carbón de color café, es el rango más bajo del carbón y su uso particular es como combustible para las plantas de generación eléctrica.
- Carbón sub-bituminoso (35% - 45% de carbón): Usado principalmente como combustible para la generación eléctrica. Este carbón tiene en muy pequeñas cantidades sulfuro, por lo que lo vuelve un carbón atractivo para la combustión, ya que genera una quema casi limpia.
- Carbón bituminoso (45% - 86% de carbón): Generalmente de un color negro y rara vez de color café oscuro, generalmente acompañado de unas bandas de material brillante y mate. Su principal uso es como combustible de las plantas de generación eléctrica pero también puede ser usado para generación de calor y para producir coque lo cual se usará para la creación de acero.
- Carbón antracita (86% - 97% de carbón): Un carbón duro, de color negro brillante generalmente usado como calentador doméstico y para fabricar acero.

El carbón puede ser quemado para calefacción o para producir electricidad. Para convertir el carbón térmico a electricidad primero se debe triturar en un fino polvo, el cual incrementará la superficie del área el cual hará que arda con mayor facilidad. Los gases calientes y la energía calorífica que se genera de la combustión convertirán el agua en vapor para hacer girar los alabes de una turbina y generador.

México cuenta con grandes reservas de carbón y una producción vasta como se puede ver en el *gráfico 1.1*. Con un promedio de producción de carbón mineral cercana a los 265 *petajoules* equivalente a 15,187 barriles de crudo equivalente. A pesar de esto, el carbón sigue siendo el combustible fósil más contaminante al emitir cerca de 90kg de CO₂ por Giga Joule de carbón consumido.

Gráfico 1.1. Producción de carbón en México (2008 - 2018).



Fuente: SIE SENER – Elaboración propia.

Petróleo

El petróleo también conocido como aceite crudo es un líquido negro compuesto principalmente por hidrógeno y carbón. El petróleo también puede tener compuestos como azufre, nitrógeno y oxígeno⁷.

Los yacimientos petroleros fueron formados hace millones de años cuando organismos marinos se depositaron en el fondo del océano donde a través de millones de años y con altas presiones y temperaturas aunadas a una roca sello se transformaron en lo que hoy en día conocemos como petróleo. El origen del petróleo puede ser cualquier ser vivo y el mayor generador de aceite crudo es el fitoplancton y zooplancton.

El aceite se encuentra en lugares específicos bajo tierra denominados yacimientos. La roca que lo contiene tiene pequeños espacios también denominados poros, los cuales logran el almacenamiento del petróleo, este tipo de roca es denominada: “roca almacenadora” la cual tiene la función de, como su nombre lo indica, una vez

depositada la materia orgánica se almacenara hasta que se produzca este aceite crudo. Este tipo de roca debe mantener ciertas características tales como: alta porosidad y alta permeabilidad, lo cual permitirá una interconexión a nivel roca entre los fluidos que contiene (agua, aceite y gas). Ejemplos de roca almacenadora es: areniscas, calizas, dolomías, etc.

Debe existir una roca que sea impermeable, que en otras palabras, evite la migración de este fluido a zonas de menor presión, el nombre de esta roca es conocida como roca sello. Ejemplos de roca sello: lutita, anhidrita o sal.

La “roca generadora” es la encargada de contener al hidrocarburo en las etapas de presión y temperatura y es la encargada de contenerlo hasta que migre a la roca almacenadora. Por ejemplo: caliza y lutita.

A través de actividades de exploración tales como: exploración empleando sismicidad, pozos exploradores y mapeo subterráneo, los geofísicos y geólogos son los especialistas encargados de localizar los sitios de perforación del pozo y producción del aceite.

El petróleo es extraído a través de la perforación de un pozo y el bombeo del petróleo a través de él. Una vez que el aceite está en la superficie este será transportado por tubería, barco, tren o camión a una refinería donde pasará un complejo proceso donde se producirán los productos petroleros tales como: gasolina, diésel, turbosina, combustible para el calentamiento, aceites lubricantes y asfalto, entre otros.

Aproximadamente el 71% de la producción del petróleo es utilizado para producir combustible para los sistemas de transporte.

En la actualidad y a pesar de los precios del petróleo que se mantienen fluctuando en el mercado, se tienen grandes reservas de hidrocarburos en el subsuelo, las

cuales pueden ser explotadas de acuerdo con su interés económico o necesidad. El gráfico 1.2 presenta la evolución de reservas de petróleo comprendiendo los años entre 2008 y 2018 de las reservas de petróleo crudo equivalente.

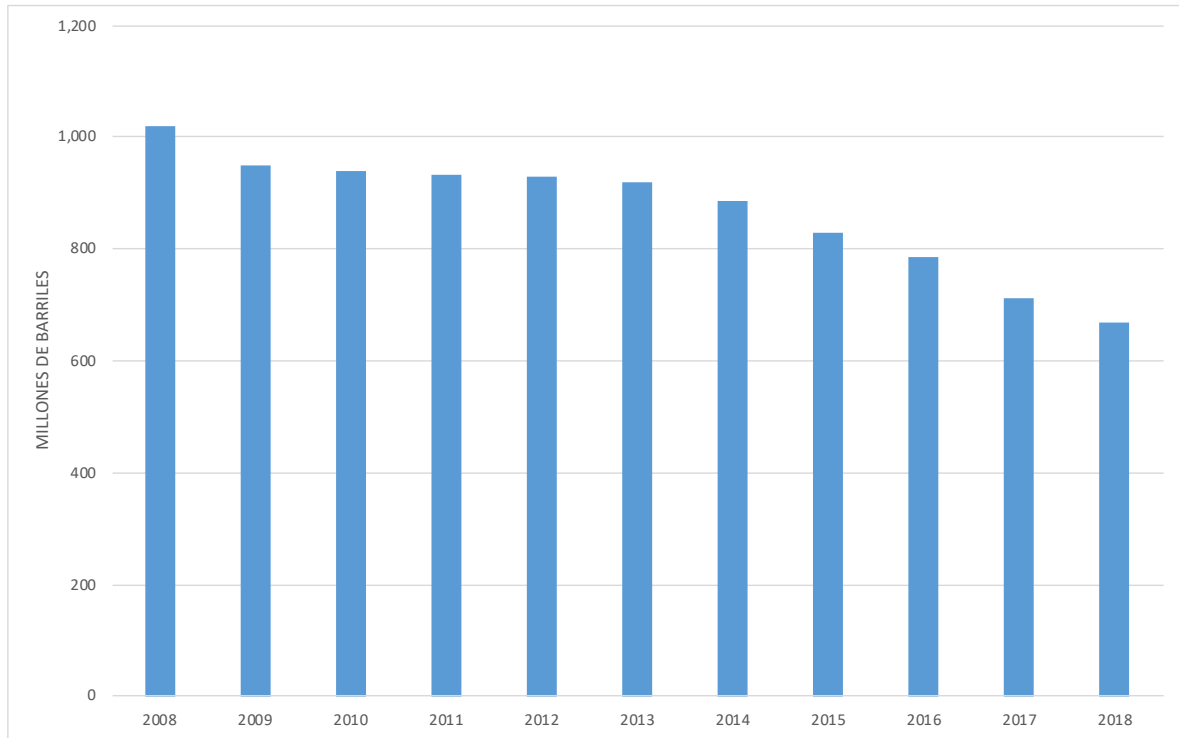
Gráfico 1.2: Reservas petroleras en México (2008 a 2018).



Fuente: SIE SENER – Elaboración propia.

Del gráfico 1.2 se puede observar que de 2008 a la actualidad la producción de hidrocarburos ha ido disminuyendo (ver gráfico 1.3) considerablemente, esto depende de varios factores, los principales son: sobre explotación sin tomar precauciones de depresionamiento del yacimiento, falta de inversión, madurez geológica, falta de exploración de nuevas reservas.

Gráfico 1.3: Producción de petróleo crudo en México (2008 – 2018).



Fuente: SIE SENER – Elaboración propia.

El crudo mexicano se clasifica principalmente en 3 tipos: Maya, Istmo y Olmeca; la diferencia entre estos tres radica en su densidad y contenido de azufre⁸ (véase tabla 1.1).

Tabla 1.1. Tipos de Aceite producidos en México.

Aceite	Densidad (API)	Contenido de azufre (%)	Tipo de Aceite
Maya	22	3.3	Extrapesado
Istmo	33.6	1.3	Ligero
Olmeca	39.3	0.8	Superligero

Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO (IMP)

Actualmente los indicadores de PEMEX muestran que el 54% del aceite extraído en todo el territorio nacional es de carácter “extrapesado” por lo que se utilizará este tipo de aceite para futuras consideraciones.

Dado que el aceite Maya tiene una densidad API de 22 grados, esto se representa en unidades internacionales como: 0.9218 g/cm^3 con un contenido de carbono entre 84% a 87%, dado que un barril de petróleo tiene 159 litros de aceite, se tiene entonces que contamos por barril un total de 146.67kg de petróleo. Asumiendo que contiene el mayor contenido carbonífero (87%) entonces tendremos 127.5 kg de carbón por barril de aceite maya.

Para calcular el carbón contenido en el dióxido de carbono, utilizamos el peso atómico tanto del carbón (12.0107 g/mol) como del oxígeno (15.9994g/mol). El CO_2 son dos átomos de oxígeno por uno de carbono por lo que se tiene:

12: de 1 átomo carbón + 32: de 2 átomos de oxígeno = 44 átomos.

De los cuales 12 son de carbón, lo que representa el 27.27% de carbón en CO_2 . La inversa de 27.27% es $3.67 \times 127.5\text{kg} = 467.55 \text{ kg de } \text{CO}_2 \text{ por barril de petróleo producido}$. Este dato concuerda con los valores internacionales y se encuentra entre los rangos establecidos por el IPCC.

Gas

El gas es una mezcla de gases, conformado en su mayoría por gas metano (CH_4) con pequeñas cantidades de otros hidrocarburos. Fue formado hace millones de años cuando los organismos muertos se depositaron en el fondo del océano, sepultándose bajo roca sedimentaria. Estos organismos se transformaron debido a la alta presión y temperatura en gas a través de millones de años⁹.

El gas se encuentra en yacimientos de gas o en yacimientos de petróleo. En el primer caso, se encuentra en los poros los cuales son los encargados de almacenar el gas, aceite y el agua. El gas es atrapado bajo tierra por una roca impermeable llamada: "roca sello" la cual va a entrapar el gas hasta que este yacimiento sea explotado.

El gas puede ser explotado mediante pozos de producción, así como también puede ser extraído en conjunto con el aceite cuando este se encuentra disuelto en el aceite. A este tipo de gas se le denomina: “gas asociado”. En el pasado, este gas era comúnmente quemado o venteado ya que su valor era muy bajo, pero hoy en día con las plantas de ciclos combinados y la creciente demanda de este hidrocarburo es casi tan valioso como el petróleo.

Existen dos tipos principales de gas natural, los cuales se diferencian de acuerdo con el tipo de metano que contengan:

- Gas seco (aprox. 95% cont. de metano): El gas seco principalmente está formado por la decantación y este gas es usado para quemarse principalmente.
- Gas húmedo (<95% de metano): es un gas de baja calidad formado a altas temperaturas, el cual contiene diversos compuestos disueltos como el etano y butano. A diferencia del gas seco estos gases pueden utilizarse individualmente para otros usos como el de la refrigeración y para la producción de productos petroquímicos como plásticos, sin embargo son poco eficientes en la combustión.

El gas es transportado a través de tuberías denominadas “gasoductos” hacia los centros de distribución y almacenamiento. En algunos casos, el gas se licua para su transportación intercontinental, a este se le conoce como gas natural licuado.

El gas natural tiene utilidad tanto para uso doméstico como en la industria, para el calentamiento y para la generación eléctrica. También puede ser comprimido y usarse como combustible para los vehículos GNC (gas natural comprimido).

En los últimos años las reservas en México han decrecido abruptamente (*ver gráfico 1.4*) debido a la caída de los precios de petróleo en 2015. A pesar de esto la

producción y la demanda de este energético ha aumentado aceleradamente (ver gráfico 1.5) aunque la producción declina desde 2009.

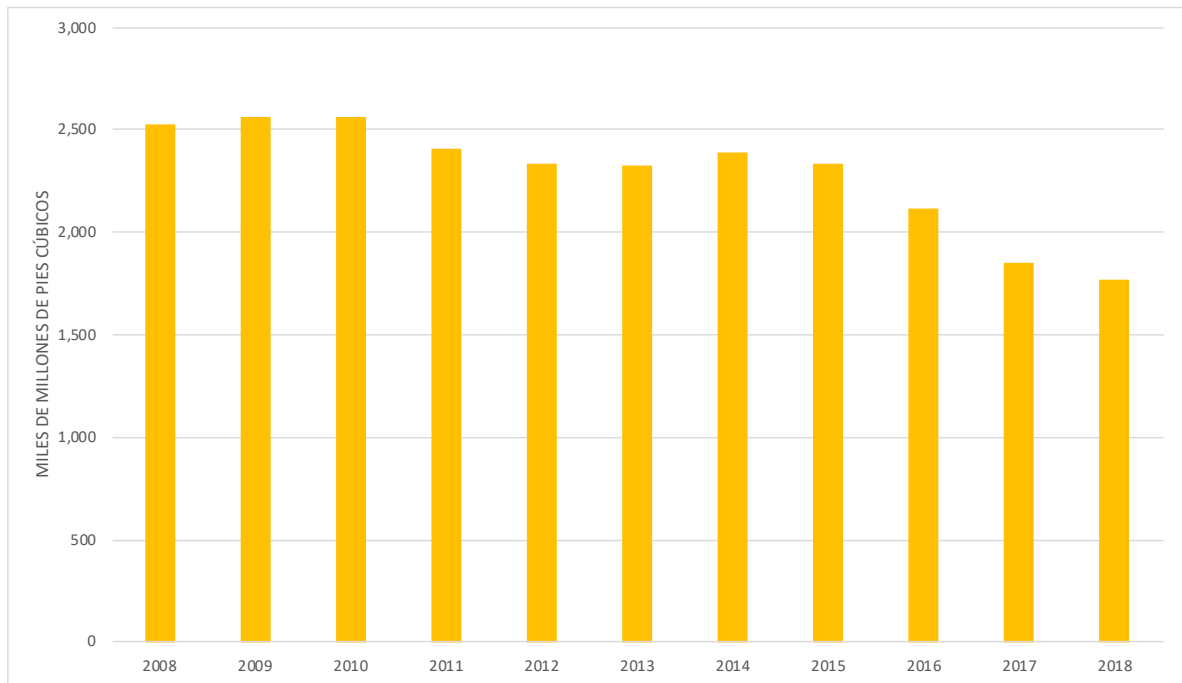
El dióxido de carbono que emite el gas natural es determinado de acuerdo con su peso atómico del CO₂ y el poder calorífico del gas [MMBtu], usando el promedio de conversión de gas natural en 2016, 10.39 térmico/millar de pie cúbico (EIA, 2018). Se obtiene el factor de 55.1kg de CO₂ por millar de pie cúbico. (IPCC, 2006)

Gráfico 1.4: Reservas de gas natural en México (2008 – 2018).



Fuente: SIE SENER – Elaboración propia.

Gráfico 1.5: Producción de gas natural en México (2008 – 2018).



Fuente: SIE SENER – Elaboración propia.

1.2 Gases de efecto invernadero

Los gases que atrapan calor en la atmósfera son denominados: “gases de efecto invernadero”. En esta sección se hablará sobre los principales gases que generan el cambio climático y las principales causas de esto¹⁰.

Existen diversas preguntas sobre este tipo de gases de efecto invernadero tales como:

- ¿Cuánto hay en la atmósfera?

La concentración o la abundancia hace referencia a la cantidad de gas que puede existir en el aire. Grandes concentraciones de GEI lideran la gran cantidad de concentración que existe en la atmósfera. Estas concentraciones se miden en partes por millones, partes por billón y eventualmente por partes por trillón. Una parte por millón es equivalente a vaciar una gota de agua diluida en aproximadamente 50 litros de agua¹¹.

- ¿Cuanto tiempo están en la atmósfera?

Cada gas tiene diferentes tiempos de estancia en la atmosfera, desde unos años hasta miles de años. Existen gases que permanecen en la atmósfera hasta que son completamente mezclados, esto significa que la cantidad de gases medidos en la atmósfera será la misma cantidad medida en todo el planeta.

- ¿Qué tan fuerte es el impacto que tienen sobre la atmósfera?

Algunos gases son mas efectivos que otros en cuestión de mantener caliente el planeta, por lo que se han establecido qué tan dañino es un gas respecto a la capa de ozono¹².

Metano (CH₄)

El metano es principalmente emitido en la producción y transporte de carbón, gas natural y aceite. Así como por la composta y otras actividades ganaderas.

Oxido de nitrógeno (N₂O)

El óxido de nitrógeno es producido principalmente durante actividades agrícolas e industriales, proveniente de la combustión de combustibles fósiles y el desperdicio sólido, o bien, durante el tratamiento de las aguas residuales.

Gases fluorados

Los hidrofluoruros de carbono (HFC), perfluorurocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆) y el trifluoruro de nitrógeno (NF₃) son sintéticos, poderosos gases de efecto invernadero que son emitidos por una variedad de procesos industriales. Los gases fluorados son altamente dañinos para la capa de ozono y a estos gases se les atribuye el hoyo de la capa de ozono. Además, estos gases son denominados:

“GWP” debido a su acrónimo en inglés (*Global-warming potential*) el cual hace referencia a una medida de cuánto calor puede ser atrapado por un determinado gas de efecto invernadero.

Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas generado a partir de la quema de combustibles fósiles. Es el principal gas emitido a partir de la actividad humana y esta presente de forma natural en la atmósfera a partir del ciclo natural del carbón. Las actividades humanas interfieren añadiendo mayor cantidad de CO₂ a los procesos. No existe combustión alguna que no genere agua ni CO₂ por lo que su producción está directamente ligada a la producción y consumo de carbón, petróleo crudo y gas natural.

La principal actividad humana que emite CO₂ está relacionada a los combustibles fósiles (carbón, gas natural y aceite) que son empleados como fuentes de energía y transporte, así como para diversos procesos industriales los cuales emiten grandes cantidades de CO₂.

Las emisiones de CO₂ provienen de la quema de combustibles, la agricultura, la ganadería, las industrias, construcción¹⁴:

- **Transporte.** El proceso que sufren los combustibles fósiles como la gasolina y el diésel para el sector transporte ha contribuido a que sea el principal emisor de CO₂, siendo el autotransporte el principal generador dentro de este sector, aportando cerca del **25.1%** del total.
- **Industrias de la energía.** La electricidad es indispensable para la vida cotidiana y es por esto que la generación eléctrica produce grandes cantidades de GEI en el proceso de generación. Es por esto que aporta el **24.1%** de la producción total. Las centrales generadoras de energía que emplean carbón como combustible fósil también conocidas como:

“carboeléctricas” las principales centrales contaminantes del país en este sector.

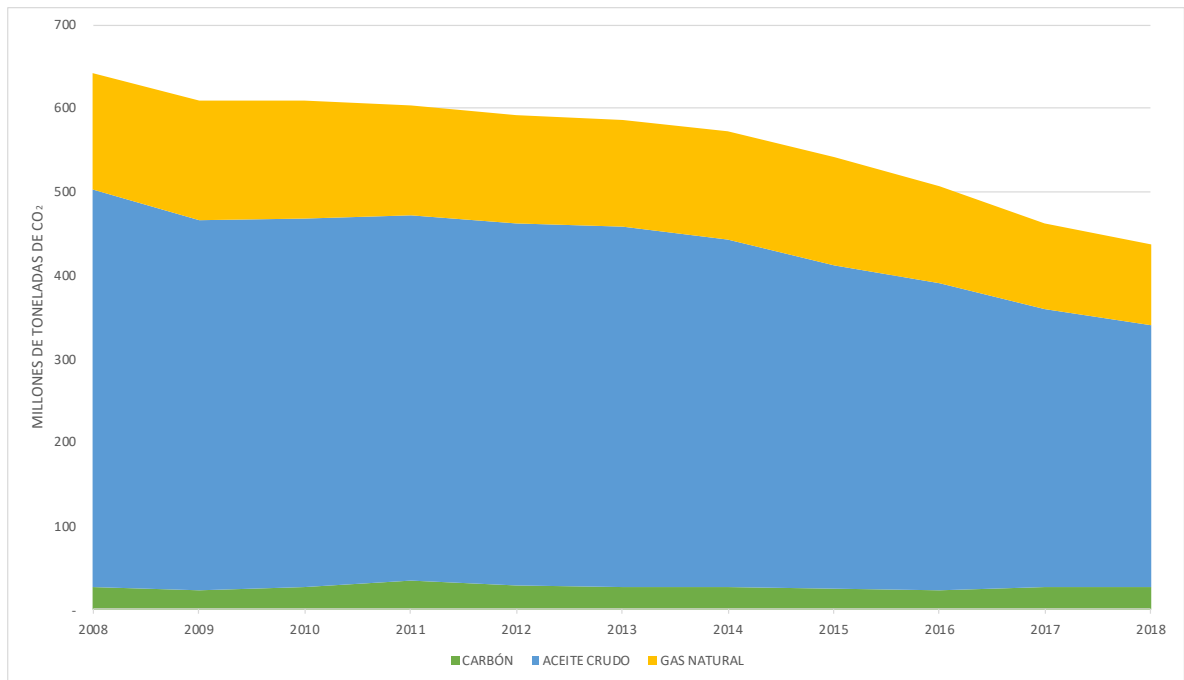
- **Industrias manufactureras y de construcción.** La mayoría de los procesos industriales generan CO₂ a través de los combustibles consumidos. Muchos procesos también producen emisiones de CO₂ como las reacciones químicas inclusive que no están relacionadas con la combustión; por ejemplo, la producción y el consumo de productos minerales tales como el cemento, la producción de los metales como el acero y el metal, y la producción de químicos. La combustión de combustibles fósiles sobre los procesos industriales aporta cerca del **3.4%** total de emisiones de CO₂.

El dióxido de carbono es constantemente emitido a la atmósfera, océanos y a la superficie terrestre y este a su vez es absorbido por microorganismos, plantas y animales. Sin embargo, la cantidad de emisiones generadas por los humanos y la cantidad de dióxido de carbono que se sintetiza de forma natural, es dispar, siendo el amplio ganador y generando una diferencia abismal la gran producción que se ha generado a través de los procesos humanos y de sus actividades.

Los humanos hemos contribuido secuencialmente al cambio climático añadiendo CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera¹².

Respecto a la producción petrolera, a lo largo de los años se ha buscado el incremento en las reservas nacionales y del aumento que debe haber para generar más ingresos al país, pero ¿Qué hay sobre la producción de CO₂ a nivel nacional? En el *gráfico 1.6* se ve la producción de CO₂ por un periodo comprendido de 2008 a 2018.

Gráfico 1.6: Producción anual calculada de CO₂ (2008 – 2018).

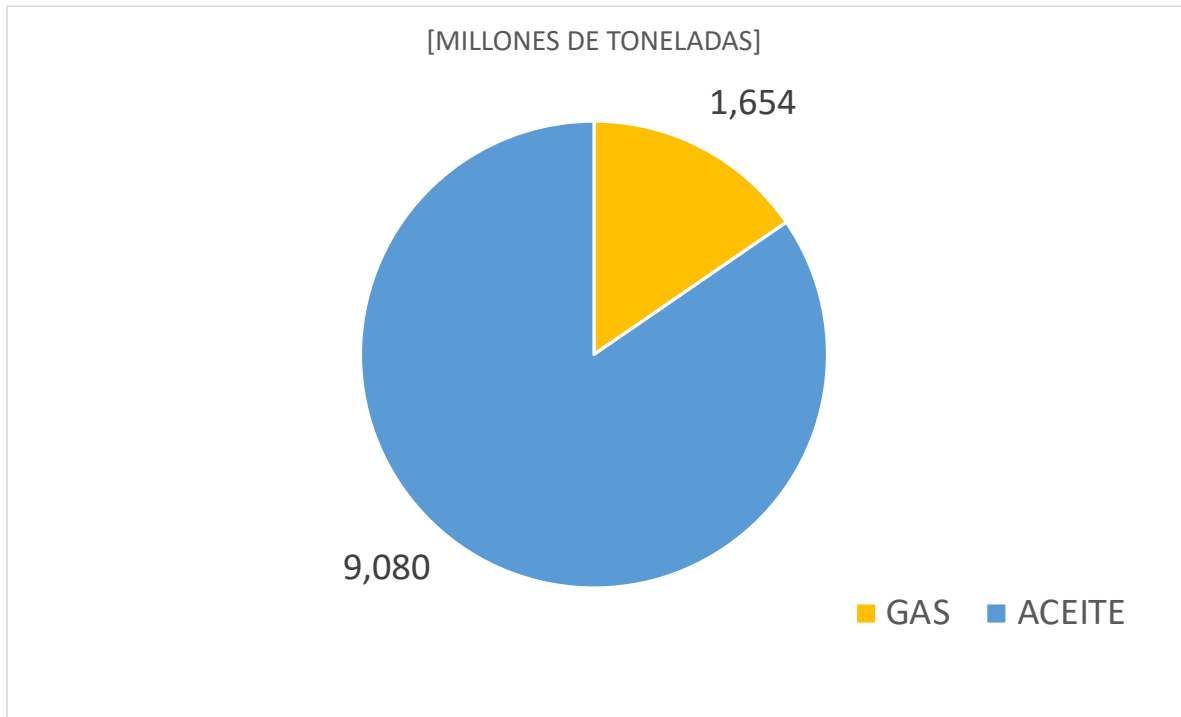


Fuente: SIE SENER – Elaboración Propia

En el gráfico 1.7 se puede observar que otra forma de catalogar las reservas de hidrocarburos, puede ser en millones de toneladas de CO₂.

La relación que existe entre el gas y el aceite ,expresado en millones de toneladas de CO₂, es casi de 6 a 1 y esto se debe principalmente a que se han explorado, caracterizado y explotado más reservas de aceite crudo que de gas, aunado a que el aceite crudo produce más dióxido de carbono en comparación al gas natural.

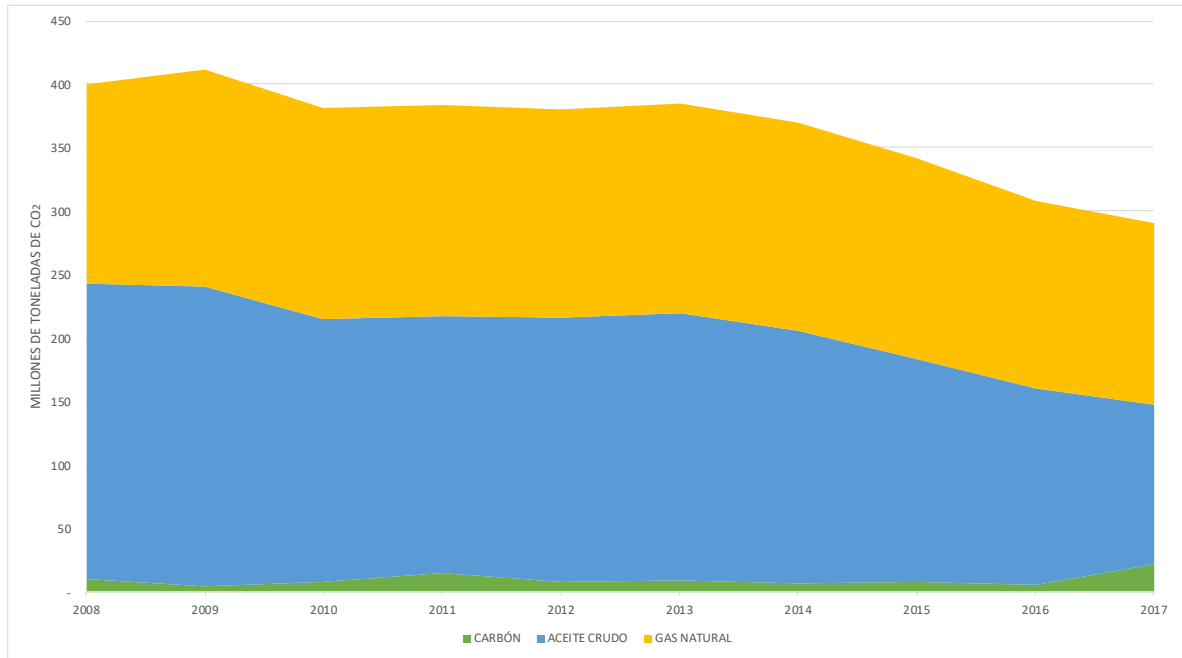
Gráfico 1.7: Reservas de hidrocarburos expresadas en toneladas de CO2 almacenadas en el subsuelo en 2018 considerando reservas 1P, 2P y 3P.



Fuente: SIE SENER – Elaboración propia.

Así como se han producido barriles de petróleo, pies cúbicos de gas y toneladas de carbón, a lo largo de los años también se han generado millones de toneladas de dióxido de carbono (*ver gráfico 1.8*), los cuales han ocasionando lo que hoy conocemos como calentamiento global. Es de vital importancia se tome conciencia de las repercusiones al extraer combustibles fósiles y calcular las externalidades que este conlleva.

Gráfico 1.8: Generación de CO₂ debido a la producción de combustibles fósiles de (2008 – 2017).



Fuente: SIE SENER – EDICIÓN PROPIA

Conclusiones

Las reservas de una nación se caracterizan en función de la exploración que se realice, el tipo de tecnología que se emplee y la viabilidad económica en las que puedan ser explotadas.

Respecto a la producción de los hidrocarburos, se observa que de 2015 a la actualidad, la producción anual ha disminuido tanto en el caso del gas natural como del petróleo crudo, siendo este último el más afectado, con una caída cercana a los 200 millones de barriles en el periodo comprendido entre 2015 a 2018.

Capítulo 2: El cambio climático y el calentamiento global

Introducción

En este capítulo se explicará y responderán ciertas preguntas relacionadas al cambio climático y los problemas que surgirán si se sigue esta tendencia de aumento de temperatura. Por otro lado, se resolverán y aclararán tanto dudas como conceptos relacionados con el tema, contestando preguntas como: ¿que es el calentamiento global? ¿qué lo distingue del cambio climático? ¿por qué son tan importantes ambos fenómenos? ¿por qué nos afecta a todos? ¿por qué hay que luchar contra esos fenómenos? ¿cuáles son las principales causas del cambio calentamiento global y la forma de mitigar estos cambios?

A lo largo de la historia, la tierra ha pasado por ciertas etapas de calor y frío más allá de las estaciones del año, sin embargo, en los últimos años se ha visto un aumento de la temperatura en invierno, disminución de la temperatura en verano, lluvias en meses del año donde no solía llover, etc.

El aumento de la temperatura puede provenir de fenómenos naturales o de actividades humanas. Entre los fenómenos naturales existen tres causas principales las cuales son: liberación del gas metano en los polos, regiones árticas y pantanos, vapor de agua y liberación de CO₂ debido a la erupción de volcanes y procesos de combustión de gas natural.

Los provocados provienen de diversas fuentes tal es el caso de la combustión de un combustible fósil (carbón, petróleo, gas natural, etc.), el resultado obtenido de este proceso químico siempre será CO₂ más agua.

Como se ha venido mencionando, la Tierra ha experimentado a lo largo de su historia cambios sin ayuda de la humanidad. Se tiene como evidencia los climas pasados. Usando estas evidencias los científicos han construido un modelo con la finalidad de mostrar las eras de hielo o eras cálidas (como las de la actualidad), a este modelo se le conoce como: "Paleoclima o clima pasado".

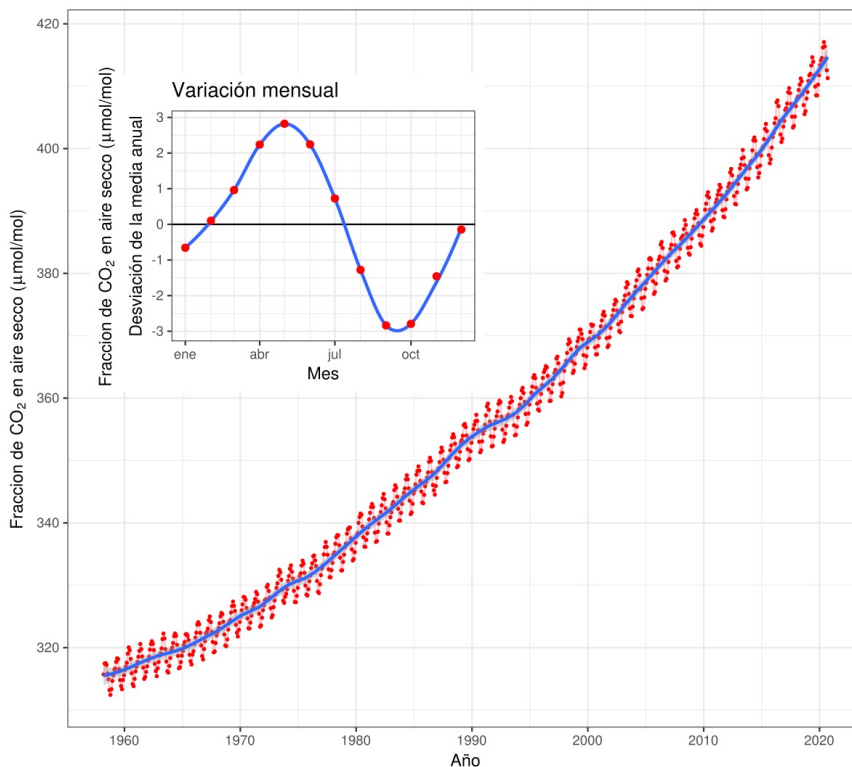
El paleoclima también revela que el actual clima cálido está ocurriendo mucho más rápido que las eras cálidas pasadas.

Evidencias del cambio climático y el calentamiento global

Aumento de la temperatura terrestre

La temperatura de la superficie de la tierra ha aumentado en aproximadamente 0.9 grados centígrados desde el siglo XIX a la actualidad. Este cambio ha sido potenciado debido al incremento de las emisiones de dióxido de carbono y otras emisiones provenientes de la actividad humana. Existen diversos organismos e instituciones las cuales son las encargadas de medir el contenido atmosférico de CO_2 en el aire, tal es el caso de el NOAA/ESRL con su observatorio en Hawái. En la *ilustración 2.1* se puede ver como el dióxido de carbono ha ido en aumento a lo largo de los años.

Ilustración 2.1. Concentración de CO_2 en el aire (1960-2020).



Fuente: Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

En los últimos 35 años se ha visto el máximo aumento de esta línea de tendencia en el calentamiento global, teniendo 5 años catalogados como los más calientes en la historia del planeta, los cuales iniciaron en 2010 (NASA, 2017)¹⁸.

Calentamiento de océanos

Los océanos también han sufrido un aumento de temperatura, ya que estos han incrementado su temperatura cercana a los 0.4 grados Fahrenheit desde 1969 en los primeros 700 metros de profundidad.

Derretimiento de glaciares

Tanto en Groenlandia como en la Antártida, la masa de los glaciares ha decrecido significativamente. Datos de la NASA muestran que Groenlandia ha perdido en promedio cerca de 286 billones de toneladas de hielo por años desde 1993 a 2016 (*National Snow and Ice Data Center, 2016*)¹⁹, mientras que la Antártida ha perdido cerca de 127 billones de toneladas de hielo por año en el mismo periodo de tiempo.

Disminución en el recubrimiento de nieve

Las observaciones de diversos satélites han mostrado que la capa de nieve que cubre el hemisferio norte ha disminuido significativamente en las décadas pasadas, mostrando un derretimiento de nieve temprana en los cambios de estaciones de frío a calor²⁰.

Aumento en el nivel del mar

El nivel del mar global ha aumentado cerca de 20 centímetros por año, sin embargo, en el último siglo ha aumentado al doble el aumento mundial anual²¹. En el Ártico, ha disminuido año con año el nivel del agua, a través de los años ha decrecido en un 12.8 por ciento desde 1981 a 2010 en promedio.

Por último, el nivel del mar ha ido incrementando su nivel, aumentando en promedio de 1993 al día de hoy en 3.3 milímetros por día. Esto debido principalmente a dos

factores, el aumento del hielo derretido al mar proveniente de los glaciares y a la expansión que se genera debido al calentamiento del agua.

Situaciones extremas

El número de eventos contabilizados de temperaturas altas en el norte de América ha ido creciendo, mientras que los eventos de temperaturas bajas han ido en disminución desde 1950²². Lo cual ha conllevado a un aumento en las lluvias e incluso lluvias cuando no solía llover²³.

Acidificación del PH de lagos y océanos

Desde que comenzó la revolución industrial la acidez del agua de océanos y lagos ha aumentado cerca del 30%. Este incremento es el resultado del aumento de emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera y esto a su vez es el resultado de la absorción de ese contaminante en los lagos y océanos. La cantidad de dióxido de carbono que está siendo absorbida por lagos y océanos es cercana a los 2 billones de toneladas por año^[24].

Causas

Los científicos atribuyen el calentamiento al aumento del efecto invernadero, esto quiere decir: “El calentamiento global es el resultado del entrapamiento del calor entre la superficie terrestre y la atmósfera de los rayos provenientes del Sol.”^[25] Ciertos gases bloquean la salida de calor que ingresa a la superficie terrestre y que se mantiene en la atmósfera.

2.1 Cambio climático

El clima ha experimentado cambios a lo largo de la vida terrestre y en los últimos 650 mil años ha habido cerca de 7 ciclos glaciares y viceversa. La última era del hielo se registró hace 7,000 años marcando el inicio de la era climática moderna y de civilización humana. Estos cambios pueden ser provocados debido a variaciones

en la órbita terrestre lo cual origina que exista un cambio de recepción de energía proveniente de nuestra estrella más cercana: "El Sol".

Existen diversos satélites y otros avances tecnológicos que han permitido a los científicos tener una gran perspectiva y recolectar cierto tipo de información lo cual revela diversos cambios que ha sufrido el planeta.

Las trampas naturales de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, han mostrado la habilidad que tiene el planeta de transferir energía y revelar estas eras de aumento de temperatura como eras de hielo de manera natural, y aunque es verdad que estas eras han pasado cíclicamente en la historia del planeta tierra, también es cierto que el humano ha intervenido para potenciar la velocidad en la que suceden estas transiciones, siendo el dióxido de carbono la principal causa de potenciación de este fenómeno.

Los glaciares en Groenlandia, Antártida y zonas de bajas temperaturas han mostrado que la tierra responde a cambios en los niveles de gases de efecto invernadero, con el aumento o disminución de estas formaciones siendo directamente proporcional al aumento o disminución de los GEI.

Gases que contribuyen al atrapamiento de calor en la atmósfera:

- Vapor de agua (H_2O). Es el gas de efecto invernadero más abundante de la tierra, pero a comparación de los demás, este funciona como regulador del clima. El vapor de agua surge cuando la temperatura de la Tierra aumenta su temperatura surgiendo así la evaporación del agua.
- Óxido nítrico (N_2O). Es un poderoso gas de efecto invernadero producido por emisiones causadas por la agricultura, especialmente por el uso de fertilizantes orgánicos y comerciales, combustión de combustibles fósiles, producción de ácido nítrico y quema de biomasa.

- Metano (CH₄). Es un gas producido naturalmente y actividades humanas, incluido la descomposición de desechos orgánicos, agricultura y el cultivo del arroz. El metano es un gas de efecto invernadero el cual es más agresivo que el dióxido de carbono, pero es menos abundante que el CO₂.
- Dióxido de carbono (CO₂). El dióxido de carbono es un importante componente en la atmósfera el cual es creado en una gran diversidad de procesos tanto naturales (respiración, erupción de volcanes, agricultura, etc.) como artificiales (quema de combustibles, reacciones químicas, deforestación, etc.). La actividad humana ha contribuido a incrementar las emisiones de dióxido de carbono desde que comenzó la revolución industrial y el uso excesivo de combustibles fósiles.
- Clorofluorocarbonos (CFCs). Componentes meramente sintéticos de origen industrial usados en diversas aplicaciones, pero actualmente regulados en producción debido al alto daño e impacto a la atmósfera creando una destrucción muy agresiva de la capa de ozono.

Las consecuencias del cambio climático son difíciles de predecir, pero los efectos que pueden pasar se asemejan a:

1. En general, la Tierra aumentara su temperatura. En ciertas regiones se verá el aumento excesivo del calor, aunque exista una probabilidad de que en ciertas zonas no se modifique la temperatura.
2. Las condiciones de aumento de temperatura darán origen a un aumento en la evaporación y precipitación alrededor de la Tierra, pero en ciertas regiones es muy probable que varié este cambio en el clima, en algunas zonas será más húmedo el clima y otras el ecosistema será más desértico.

3. Los cambios en los gases de efecto invernadero darán lugar a un aumento en la temperatura en los océanos y un derretimiento parcial en los glaciares lo cual repercutirá en un aumento en el nivel del mar a nivel mundial.

El cambio climático tiene efectos visibles actualmente, tales como: derretimiento de glaciares, presencia de hielo en ríos, el desbordamiento de ríos, la cantidad de flora y fauna que se ha modificado en ciertas regiones y que las plantas están floreciendo a destiempo.

Estos efectos han sido predichos por científicos en el pasado, asegurando que la temperatura seguirá en aumento las siguientes décadas, debido a los gases de efecto invernadero producidos por las actividades humanas.

De acuerdo con el IPCC (*IPCC 2016*), los efectos que se verán en las diversas regiones variaran de acuerdo con el tipo de ecosistema que exista en sitio; pero lo que es seguro es que las especies ahora deberán adaptarse o morir.

Los cambios seguirán este siglo y el posterior. La magnitud del cambio climático nos afectará durante los siguientes años inevitablemente, dependiendo principalmente en el consumo de combustibles fósiles y sobre todo en la manera que se generen estos GEI lo cual se vera reflejado en la cantidad de gases que existan en la atmosfera los cuales atraparán el calor.

La temperatura continuará en aumento. Debido a la actividad humana, se ha impuesto un aumento en la temperatura el cual no es natural, ni debería serlo. Se esta pasando por un momento de calentamiento abrupto el cual el principal contribuyente es el ser humano.

Cambios en los patrones de lloviznas, las precipitaciones han aumentado a nivel mundial desde el siglo XX, pero en ciertas áreas ha decrecido. En épocas del año

tales como invierno y primavera, ha aumentado la cantidad de agua por cm^2 , lo cual conlleva a un desequilibrio en el ecosistema.

Los fenómenos naturales se intensificarán. En las últimas décadas se ha visto un incremento en la intensidad de los huracanes. Aún se desconoce si el humano ha contribuido a potenciar estos fenómenos naturales, pero independientemente de esto es una realidad que los fenómenos naturales se han intensificado.

Se pronostica que para 2100, el nivel del mar aumente de 1 a 4 pies ^[26]. En los últimos años se ha experimentado un aumento considerable del nivel del mar debido al derretimiento de los glaciares. Se pronostica que si se sigue la misma línea de tendencia para el año antes dicho desaparezcan islas, archipiélagos y ciudades que tengan costas.

Datos de la NASA muestran que la concentración de CO_2 ha pasado de 378 ppm en enero 2005 a 412 ppm en agosto de 2019.

La temperatura global del planeta también ha sufrido desvaríos inusuales, la última anomalía de temperatura ocurrió en 2018 con un aumento cercano a los 0.8°C . Este cambio origina alteraciones graves en un ecosistema sensible.

2.2 Calentamiento global

El calentamiento global es el incremento acelerado inusual del promedio de la temperatura de la superficie terrestre debido principalmente a efecto invernadero en el cual interfieren gases provenientes de la combustión de combustibles fósiles como se muestre en la *ilustración 2.2*.

Ilustración 2.2. Diagrama de efecto invernadero.



Fuente: Edición Propia – Imagen de fondo tomada de: www.pinterest.com

Diversos modelos han predicho un aumento de los gases de efecto invernadero y un aumento en la temperatura terrestre directamente proporcional, debido al aumento en el consumo de combustibles fósiles. Con base en la demanda actual se pronostica que para el final del siglo XXI exista un aumento de temperatura cercana entre los 2 y los 6 grados centígrados.

Efecto invernadero natural de la Tierra

La temperatura de la tierra proviene meramente del sol y del calor endógeno de la propia Tierra. Cerca del 30% de los rayos se reflejan al espacio, pero el 70% de este es absorbido por la tierra, el océano y el resto se queda en la atmósfera.

La radiación térmica también conocida como calor es almacenada y posteriormente cedida para convertir el agua en vapor de agua, la cual irá hacia la atmósfera junto con los gases de efecto invernadero, siendo el vapor de agua un GEI, pero natural.

Cuando los GEI absorben la energía emanada de la superficie terrestre, estas moléculas microscópicas, se comportan como en el plástico de los invernaderos utilizados en la agricultura, lo cual permite la entrada de calor, pero impidiendo la salida del mismo, haciendo rebotar esta radiación térmica con la única intención de aumentar la temperatura en un sitio en específico.

Esta absorción que existe en la atmósfera es vital para la supervivencia humana, si no existiera este fenómeno de efecto invernadero, la temperatura terrestre oscilaría entre los -18°C y los 15°C .

Efecto invernadero por causas antropogénicas

En lo que los científicos coinciden es que los pasados 250 años los humanos han intervenido artificialmente en el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera con la combustión de combustibles fósiles, pero también con la deforestación, la agricultura, la ganadería, etc.

Hoy en día la atmósfera contiene más moléculas de gases de efecto invernadero por lo que una mayor proporción de la energía suministrada a la atmósfera queda atrapada por el efecto antes descrito.

Contrario a lo que se piense, el Sol no puede ser la causa del cambio en el clima de la tierra ni tampoco se puede asumir que el sol es responsable del calentamiento global debido a que, si este fuera el responsable del calentamiento global, se podría ver en los siglos pasados una relación con nuestra estrella más próxima, dadas las circunstancias y la nula relación que existe entre la emanación de energía de este astro. Se puede concluir que el sol no es la principal causa del calentamiento global.

Una de las pruebas más contundentes e irrefutables las cuales muestran que el sol no es la causa del calentamiento global, es el estudio de las emanaciones que ha tenido el sol desde el siglo XX. Científicos han monitoreado y estudiado estas emanaciones de energía, con el uso de sensores en satélites, y la emanación de

energía de este astro es generalmente constante, por lo que al no haber variación significativa entre la energía despedida del sol y si haber un desequilibrio y variación en la temperatura terrestre, se asume la nula relación del sol con el calentamiento global.

Conclusiones

El cambio climático y el calentamiento global, aunque son temas similares cabe mencionar que: el calentamiento global es una consecuencia de, mientras que el cambio climático engloba todo un conjunto de fenómenos naturales los cuales han sido potenciadas por los humanos. El calentamiento global se refiere precisamente a un aumento en la temperatura terrestre inusual que como se mencionaba antes, a pesar de que ha ocurrido antes, los humanos hemos contribuido a reducir el tiempo entre la transición entre cada era.

Se debe hacer énfasis e hincapié respecto a los cambios que se están experimentando como humanidad. Estos cambios son reales, son inminentes, son altamente peligrosos.

No es casualidad que se estén experimentando catástrofes naturales, es causalidad. Al igual que la demás flora y fauna del planeta, somos seres vivos y corremos el riesgo de la extinción.

Capítulo 3: ¿Qué se ha hecho para combatir el CCCG?

Introducción

En este capítulo, se detallarán las acciones ejercidas por la comunidad internacional con el fin de reducir los efectos del cambio climático y el calentamiento global, se expondrán cuales son los diversos grupos, asociaciones, acuerdos y protocolos que existen con la clara intención de visualizar un panorama más amplio desde protocolos pasados hasta acuerdos actuales sobre lo que se ha hecho y se está haciendo en la actualidad en contra del cambio climático y el calentamiento global.

Se analizará individualmente cada uno de estos grupos, conferencias, protocolos y acuerdos señalando lo más relevante sobre cada uno, con la intención de extraer lo más importante y así poder establecer un punto de partida hacia la creación de un acuerdo nacional exclusivo para el país que pueda ser aplicable para otras naciones.

La primera conferencia sobre el clima y acciones contra el cambio climático se suscitó desde 1972, y desde ese entonces a la actualidad siempre se han caracterizado por haber un claro desacuerdo entre los países más ricos y los países en vías de desarrollo.

Conferencias y grupos de análisis

Cronología de las conferencias sobre el cambio climático

(1972) Conferencia de Estocolmo

Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Humano, celebrada en Estocolmo, Suecia. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) fue la encargada de realizar dicha conferencia la cual fue conocida mundialmente como la Conferencia de Estocolmo y fue la primera gran conferencia, con tópicos principales en cuestiones

ambientales internacionales, la cual generó un cambio en la ideología en política ambiental con una asistencia de los representantes de 113 países, 19 organismos intergubernamentales, y más de 400 organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales.

En esta conferencia se acordó una declaración de 7 puntos principales y una resolución de 26 principios, con la finalidad de inspirar y guiar a los pueblos del mundo en la preservación y mejora del medio ambiente.

(1988) IPCC

En 1988 se crea el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático, mejor conocido como: "IPCC". Fue creado por la Organización Meteorológica Mundial por sus siglas (OMM) y la PNUD con el objetivo principal de proporcionar una fuente objetiva y fidedigna de información científica.

El IPCC fue creado para ser el regulador con sustento científico en el cambio climático, las implicaciones y problemas potenciales en el futuro, así como para crear sistemas de adaptación y mitigación hacia el futuro.

El IPCC es el encargado de evaluar y determinar el estado de conocimiento del cambio climático, identifica donde hay acuerdo en la comunidad científica sobre temas relacionados con el cambio climático y donde se necesita que se realice más investigación. Los informes se revisan en diversas ocasiones, con la finalidad de garantizar un resultado objetivo y transparente.

(1992) Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático

En mayo de 1992 con el claro objetivo y ardua labor de concientizar a la población mundial sobre los problemas medioambientales, se celebró la Convención Marco de las Naciones para el Cambio Climático (CMNUCC).

El objetivo principal de esta convención fue la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, con la intención de preservar el medio ambiente y disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Se establece la Conferencia de las Partes (COP) como el órgano supremo de la Convención y la asociación de los países que forman parte de ella. Las reuniones anuales están conformadas por expertos en medio ambiente, ministros, jefes de estado y organizaciones privadas. En la actualidad la Conferencia de las Partes se celebra cada dos años en la Sede de la UNESCO en París.

Su objetivo principal es la supervisión del cumplimiento de la Convención, por lo que los gobiernos deben proporcionar un informe en el que se presenten las medidas empleadas para cumplir las disposiciones de la misma.

La conferencia de las Partes ha tenido 6 reuniones, las cuales han ocurrido cada 2 años desde el 2007, siendo esta la primera, hasta la última la cual tuvo lugar del 29 al 31 de octubre de 2019 en la Sede de UNESCO ubicada en París, Francia.

(1995) COP1 – Mandato de Berlín

La primera conferencia COP, de esta conferencia se origina el Mandato de Berlín el cual consiste en ser un catálogo de compromisos que permite a los países escoger las iniciativas ajustadas a sus necesidades particulares, con la finalidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este mandato, estableció una fase de análisis y evaluación de 2 años.

(1996) COP2 – Ginebra

La segunda Conferencia de las Partes publicó los resultados del segundo informe de evaluación del IPCC, que se publicó en 1995. En esta conferencia se establece que los países miembros no seguirían soluciones uniformes, debido a que cada país

es libre para emplear las soluciones mas relevantes para su situación particular. En la conferencia de Ginebra, las partes expresan el deseo de establecer objetivos generales a mediano plazo.

(1997) COP3 – Kioto

Esta conferencia llevada a cabo en Japón, se adopta el Protocolo de Kioto luego de negociaciones intensas. Por primera vez se introducen objetivos vinculantes para las emisiones de GEI en 37 países industrializados de 2008 a 2012. El tratado entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005 pero diversos países miembros de la CMCC no ratificaron el Protocolo de Kioto y no reconocieron sus requisitos sobre emisiones.

(1998) COP4 – Buenos Aires

Llevada a cabo en el país de Argentina. Lo más sobresaliente de esta conferencia fue que hizo notar que existían puntos pendientes en el Protocolo de Kioto. Por lo que se reprogramó por un periodo de 2 años con la intención de clarificar y desarrollar herramientas de aplicación en el Protocolo de Kioto.

(1999) COP5 – Bonn

Conferencia que continuó con el debate técnico sobre los mecanismos del Protocolo de Kioto.

(2000) COP6 – La Haya

Conferencia con sede en los Países Bajos, marcada por debates políticos sobre una proposición de Estados Unidos de América para que se permitiera que las áreas agrícolas y forestales se convirtieran en sumideros de dióxido de carbono. Si esta proposición se hubiera efectuado, Estados Unidos de América hubiera satisfecho su obligación a nivel mundial de la reducción de GEI.

En esta misma conferencia existió una gran incertidumbre respecto a las sanciones que se adoptarían a los países que no cumplieran con las obligaciones de reducir sus emisiones de GEI. Por último, existió un rechazo contundente ante la propuesta de compromiso por parte de la Unión Europea.

(2001) COP7 – Marruecos

En esta conferencia se terminó de acordar las reglas para la puesta en práctica del Protocolo de Kioto, donde la negociación no llegó a resultados favorables y se prolongó por aproximadamente 4 años más.

Se establecen 4 puntos primordiales:

- Reglas para operar el mercado de emisiones y otros mecanismos.
- Metodología de acreditación del secuestro del carbono por sumideros en inventarios nacionales.
- Cantidad y metodología de la distribución de fondos a países en vías de desarrollo para la mitigación de los efectos del Cambio Climático.
- Mecanismos para el aseguramiento del cumplimiento de los compromisos y multas para quien no cumplieran estos estatutos.

(2006) COP12 – Kenya

En las pasadas 5 COP no hubo avances a resaltar, es considerado como un tiempo de espera empleado principalmente en ultimar detalles al Protocolo de Kioto.

(2007) COP 13 – Bali

Esta Conferencia tuvo sede en el país de Indonesia, en la cual se dio un importante paso hacia la sustitución del Protocolo de Kioto. Los puntos más relativos de esta Conferencia fueron los signos del calentamiento global incuestionables y se ejecuta un plan llamado: “Plan de Acción de Bali”, el cual establece un marco de negociaciones para los siguientes 2 años.

(2008) COP14 – Poznań

En esta ciudad de Polonia se situó la décimo cuarta Conferencia, lo más impactante de esta fue que se crea el programa de transferencia de tecnologías ecológicas para países en vías de desarrollo y se preparó para el siguiente gran evento.

(2009) COP15 – Copenhague

Aquí se esperó por mucho tiempo y fue una de las Conferencias más sonadas y más esperadas, pero lo único que trajo fue una gran decepción.

Se esperaba que la capital de Dinamarca trajera buenas noticias al mundo mediante el anuncio de un nuevo protocolo para la disminución de las emisiones de GEI, el cual era objetivo central.

A cifras concretas se esperaba una reducción de GEI a menos de 50% para 2050 tomando como año base 1990. Aunque esto no se culminó debido a que 3 semanas antes de la COP15 se realizó una reunión extraoficial en Tailandia, en la cual China y EE.UU. decidieron que los acuerdos de Copenhague no tendrían carácter vinculante, de manera que la Cumbre no se veía muy prometedora. Aún quedaban esperanzas para salvar ese evento, pero de nuevo se vio en problemas cuando los presidentes de China, EE.UU., India, Brasil y Sudáfrica, realizaron una reunión a puerta cerrada y en 3 documentos se redactó un acuerdo no vinculante el cual no se puso ni a votación.

Al final de la Conferencia, solo fue expuesta una toma de conocimiento de los asistentes, lo cual propondría que a principios de 2010 se trabajaría en una plataforma política con la finalidad de construir compromisos jurídicos vinculantes en la COP 16. Esta cumbre fue conocida como la cumbre del fracaso y desastre.

(2010) COP16 – Cancún

Esta conferencia llevada a cabo en México, logró grandes acuerdos del que cabe destacar la creación del Fondo Verde para el Clima, el cual establece un monto de cien mil millones de dólares anuales a partir del año 2020 y de 30 mil millones de dólares para 2010-2012, con la clara intención de apoyar a los países en vías de desarrollo a subsidiar los costos de la lucha con el Cambio Climático. Las conclusiones de esta Conferencia establecían adoptar una decisión sobre los compromisos para una segunda fase del Protocolo de Kioto para que no exista una brecha entre la primera y segunda fase del período de compromiso.

(2011) COP17 – Sudáfrica

Esta conferencia es recordada por ser la que marcó el nacimiento del Protocolo de Kioto en su versión 2.0 por así llamarla y el comienzo de su muerte. En la conclusión de esta cumbre se creó un modelo para un tratado mundial, exigido principalmente por la Unión Europea, consiste en comprometer a los mayores contaminantes que no habían participado en el Protocolo de Kioto, como China, EE.UU. e India. Aunque por otro lado existió una contraparte (Canadá, Japón y Rusia) la cual anunció su deslinde al Protocolo de Kioto.

(2012) COP18 – Qatar

En esta conferencia se prolongó la muerte del Protocolo. La reunión de los 194 países alcanzó un acuerdo denominado: “La Puerta Climática de Doha”, con la finalidad de prorrogar el Protocolo de Kioto hasta el 2020 pero no tuvo éxito, debido al malestar que existía en la mayoría de países ocasionado por un aumento de las donaciones hacia los países en vías de desarrollo. Por otro lado, las emisiones de dióxido de carbono ya duplicaban las cifras de 1990.

(2013) COP19 – Polonia

El objetivo principal era el de llegar a un acuerdo a corto plazo en 2015 para que se redujeran las emisiones de GEI. Sin embargo, hubo cierta oposición por parte de

varios países, entre ellos Polonia, debido a que su industria se basa principalmente en el carbón.

Un aspecto a resaltar de esta COP fue que la ONU presentó un documento el cual asegura que el ser humano es el principal causante del calentamiento global desde 1950. Para finalizar el evento se crea una hoja de ruta hacia un pacto global incluyente para 2015. Un hecho resaltante fue el desalojo masivo de las ONG y los sindicatos, hecho que no se ha vuelto a repetir hasta la fecha en las COP's.

(2014) COP20 – Lima

Esta conferencia llevada a cabo en Perú tuvo como principal aspecto el anuncio de un compromiso conjunto por parte de los dos principales países emisores de gases de efecto invernadero de China y Estados Unidos.

La principal característica de este compromiso fue no sobrepasar los 2°C, límite previamente establecido por expertos en el tema. La ONU consideró que el objetivo era reducir las emisiones entre 40% y 70% para 2050 y a cero para 2100.

Este convenio fue la primera piedra del Acuerdo de París.

(2015) COP21 – París

El Acuerdo de París, un convenio mundial en contra del Cambio Climático, llevado a cabo en la COP21 en París, Francia. Fue adoptado este Acuerdo por 197 países y su firma se inicio el 22 de abril de 2016, también conocido como el día de la Tierra. La aplicación de este Acuerdo comenzará en 2020 y contempla la limitación del aumento de la temperatura mundial a 2°C mediante la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

(2016) COP22 – Marrakech

En la capital de Marruecos se llevó a cabo la COP22, caracterizada por su bajo perfil y casi nula cobertura mediática, por lo que alguno la llamaron una “reunión técnica”.

Lo más destacable de esta reunión fue que se adoptó un papel de trabajo para aplicar el Acuerdo de París y se aprobó una hoja de ruta que conduciría con las normas que guiarían al esencial acuerdo.

También, en esta conferencia se estableció la COP24, Polonia 2018 con la intención de poner en marcha un puente hacia 2020, cuando comience la implementación del Acuerdo de París.

(2017) COP23 - Alemania

Esta conferencia llevada a cabo en el mes de noviembre de 2017 con sede en Bonn, Alemania. Se destacó debido a que Estados Unidos se presentó con una delegación de bajo rango, tras la decisión de Donald Trump por abandonar el Acuerdo de París. También en la reunión se conoció que mas de veinte países crearon una alianza global la cual se comprometía a eliminar las centrales generadoras de energía proveniente del carbón antes de 2030. Sin embargo, existieron ciertos países que no firmaron debido su alto consumo de hidrocarburos altamente contaminantes tal es el caso del carbón, China, India y Estados Unidos fueron los países que no firmaron.

(2018) COP24 – Polonia

En diciembre de 2018 se llevo a cabo la Conferencia de las Partes #24 en la ciudad de Katowice. En esta sesión se llevó a cabo con demasiada hermeticidad.

Este COP no fue tan significativo ya que no fue bien aceptada por los demás países participantes debido a las condiciones las cuales se proponían en la sesión.

Existió cierta controversia debido al documento realizado por IPCC cuyo principal objetivo era el de limitar la subida de temperatura a 1.5 grados centígrados.

Un grupo en específico, conformado por Estados Unidos, Rusia, Arabia Saudita y Kuwait se mostró inconforme con relación al informe del IPCC. Estados Unidos mostró una gran repulsión ante el documento propuesto por el IPCC y el presidente Donald Trump expresando abiertamente su desacuerdo. El presidente de Arabia

Saudita también hizo comentarios desfavorables mencionando: “El tratado de París ha muerto”.

(2019) COP25 – Santiago de Chile

La capital chilena se suponía sería la sede de la conferencia número 25 pero debido a temas de COVID-19 fue cancelada.

Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto fue un protocolo derivado de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) con el objetivo principal de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta y promover el crecimiento sustentable de los países en vías de desarrollo.

Los principales gases que se buscaban reducir eran:

1. Dióxido de carbono (CO₂)
2. Metano (CH₄)
3. Oxido nitroso (N₂O)
4. Hidrofluorocarbonos (HFC)
5. Perfluorocarbonos (PFC)
6. Hexafluoruro de azufre (SF₆)

El protocolo ha tenido grandes avances y logros, entre los que destacan:

- Que los gobiernos inscritos ante este protocolo establezcan leyes, políticas y líneas de acción para cumplir con ciertos compromisos ambientales.
- Que las empresas, tanto públicas como privadas, tengan en cuenta al medio ambiente a la hora de tomar decisiones y que estas no sean en contra del medio ambiente.

- Apoyar la creación de un mercado de carbono para reducir las emisiones de este GEI al menor costo posible.

El protocolo de Kioto fue adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón. Entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. Para noviembre de 2009 187 estados habían ratificado este acuerdo, pero Estados Unidos, siendo el mayor emisor de GEI en esa época, nunca ratificó este protocolo.

Los países que ratificaron el Protocolo de Kioto, pactaron una reducción de al menos un 5% de las emisiones de GEI tomando como línea base los niveles de 1990.

Según las estimaciones hechas por el IPCC la temperatura atmosférica de la Tierra aumentará entre 1.4 y 5.8 grados centígrados durante el siglo XXI. Por lo que, de no tomar acciones se verá una gran repercusión en el ecosistema y en la economía global.

En el Protocolo de Kioto la energía nuclear fue dejando a un lado las emisiones de GEI, así como una energía limpia y como un buen ejemplo de uso y aplicación en la mitigación del calentamiento global, a pesar de los sucesos tan catastróficos relacionados con esta fuente de energía.

Además de los compromisos de mitigación de los países desarrollados, el Protocolo de Kioto desarrolló sustentabilidad en los países en desarrollo.

Países participantes

Estados Unidos

En un inicio Estados Unidos firmó el acuerdo, pero el Congreso de dicho país no lo ratificó, por lo que su adhesión solo fue simbólica hasta el año 2001 en el que el presidente George Bush se retiró de manera abierta de este protocolo. Su

argumento fue que consideraba que era ineficiente. Estados Unidos consume el 25% de energía fósil mundial con apenas el 4% de la población mundial siendo este uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero en el mundo. En 2015, Barack Obama puso como objetivo una reducción del 30% en las emisiones para 2030 a través de la Agencia de Protección Medioambiental EPA por sus siglas en inglés.

Unión Europea

La Unión Europea se comprometió a reducir sus emisiones totales medias entre los años de 2008 a 2012 en un 8% en comparación a la línea base de 1990.

Canadá

EL 11 de diciembre de 2011 Canadá abandona de manera definitiva el Protocolo de Kioto con la intención de no pagar multas relacionadas con el incumplimiento de la reducción de emisiones.

Protocolo de Kioto 2.0

De 2013 a 2020 se creó una segunda versión del Protocolo de Kioto en el cual la Unión Europea y Australia acordaron aumentar las reducciones de las emisiones. También, los países de la UE e Islandia se comprometieron a reducir sus emisiones en un 20%, tomando como línea base 1990, para 2020.

El objetivo se reparte principalmente en 29 países de la Unión Europea dándole seguimiento a compromisos ya vigentes en cada sector de la economía, teniendo como principales reglas:

- La UE es responsable de las emisiones en los sectores incluidos en el régimen de comercio de derechos por sus siglas (RCDE)
- Cada país es responsable de sus propias emisiones en los sectores no incluidos en el RCDE.

Este objetivo se alcanzará con 3 medidas clave que serán esenciales para su cumplimiento:

1. Reducción del 20% en emisiones de GEI tomando como línea base 1990.
2. El 20% de la generación eléctrica debe provenir de fuentes de energía renovables.
3. Aumento del 20% en la eficiencia energética.

Existen diversos cambios en relación con la primera versión de Protocolo de Kioto en las que destacan:

- Actualización en las normas sobre la contabilidad de las emisiones del uso de la tierra y la silvicultura con la finalidad de llevar un mejor conteo en las emisiones.
- La incorporación de un séptimo gas de efecto invernadero, el trifluoruro de nitrógeno (NF₃).

En la *tabla 3.1* se enlistan los países que firmaron el Protocolo de Kioto con su respectivo compromiso de reducción de emisiones de GEI:

Tabla 3.1 Lista de los países y las reducciones a las cuales se comprometieron en el Protocolo de Kioto.

Parte	reducción de las emisiones (% del nivel del año o período de base)
Alemania	92
Australia	108
Austria	92
Bélgica	92
Bulgaria*	92
Canadá	94
Comunidad Europea	92
Croacia*	95
Dinamarca	92
Eslovaquia*	92
Eslovenia*	92
España	92
Estados Unidos de América	93
Estonia*	92
Federación de Rusia*	100
Finlandia	92
Francia	92
Grecia	92
Hungría*	94
Irlanda	92
Islandia	110
Italia	92
Japón	94
Letonia*	92
Liechtenstein	92
Lituania*	92
Luxemburgo	92
Mónaco	92
Noruega	101
Nueva Zelandia	100
Países Bajos	92
Polonia*	94
Portugal	92
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	92
República Checa*	92
Rumania*	92
Suecia	92
Suiza	92
Ucrania*	100

* Países que están en proceso de transición a una economía de mercado.

Fuente: Anexo B, Protocolo de Kioto.

Acuerdo de París.

En la vigésima primera Conferencia de las Partes (COP21) sobre el cambio climático celebrado en diciembre de 2015, un conjunto de 195 países firmó el primer acuerdo mundial contra el cambio climático.

Los principales elementos del Acuerdo de París fueron las siguientes:

- **Solidaridad:** Los países firmantes destinaron un presupuesto para la lucha contra el cambio climático para ayudar a los países en vías de desarrollo a reducir sus emisiones para un beneficio mundial.
- **Transparencia:** Se aceptó realizar un informe mutuo rindiendo cuentas a la sociedad del grado de cumplimiento de sus objetivos, avances y logros que cada país haya tenido en un periodo de 5 años.
- **Ambición:** Se acordó la emisión de un informe con la finalidad de realizar objetivos más ambiciosos en cuanto se cumplieran los establecidos.
- **Contribuciones:** Se presentaron planes generales con la función de lograr un compendio de ideas y soluciones ante las problemáticas mundiales.
- **Objetivos a largo plazo:** Se acordó mantener el incremento de la temperatura mundial por debajo de los 2 grados centígrados a los niveles preindustriales y trabajar para limitarlo a 1.5 grados centígrados.
- **Punto máximo y neutralidad climática:** Las partes propusieron un punto máximo de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, el cual deberán no rebasar.
- **Mitigación:** Se establecieron compromisos para los miembros de todas las Partes con la finalidad de preparar, comunicar y mantener una contribución determinada a nivel nacional y aplicar medidas nacionales para lograrlos.
- **Sumideros y depósitos:** Se alentó a los miembros de las Partes a mejorar los depósitos y sumideros de los gases de efecto invernadero, el cual también incluye los bosques.

- Participación voluntaria: Se reconoció la posibilidad del voluntariado entre las Partes con la intención de permitir una mayor ambición en los objetivos de la disminución de GEI y el apoyo al desarrollo sostenible.
- Adaptación: Se estableció un objetivo mundial sobre la adaptación. El acuerdo reconoció que la adaptación es un reto mundial el cual es responsabilidad de todos. Debiendo de reconocerse los esfuerzos de adaptación de los países en desarrollo.
- Pérdidas y daños: Se reconoció la importancia de evitar, reducir, hacer frente a las pérdidas y los daños que puedan existir en el cambio climático, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos y los fenómenos de evolución lenta.
- Recursos financieros, tecnológicos y para el fomento de la capacidad. Se hizo énfasis en los esfuerzos por el apoyo de los países desarrollados a los países en vías de desarrollo con la finalidad de construir un futuro limpio y altamente ecológico.
- Balance mundial: Se acordó hacer un balance del Acuerdo en el año 2023 y posteriormente a este evento se realizará periódicamente cada 5 años con la finalidad de evaluar el progreso colectivo hacia el logro de los objetivos del Acuerdo de una manera global y facilitadora.
- Decisión: Se estableció una serie de medidas con la finalidad de mejorar acciones antes de 2020, incremento los fondos urgentes, generó tecnología de apoyo y creando medidas que faciliten la participación de alto nivel.

El Acuerdo exige que hagan lo posible por medio de contribuciones determinadas a nivel nacional denominadas NDC (por sus siglas en inglés), que se promuevan los esfuerzos en los años siguientes. Lo anterior requiere que todos los países conformantes informen periódicamente sus emisiones y lo que están realizando en la lucha del cambio climático.

El Acuerdo de París quedó abierto a la firma a partir del 22 de abril de 2016 (Día mundial de la Tierra) en la sede de las Naciones Unidas de Nueva York, entrando en vigor el 4 de noviembre de 2016, 30 días después de que se cumpliera el

llamado: “doble criterio” el cual consiste en una ratificación por parte de 55 países lo que representó el 55% de las emisiones mundiales. En los últimos años, más países se han sumado a la lucha alcanzando en la actualidad un total de: 187 de 197 países participantes a la Convención.

Conclusiones

En este capítulo se analizaron las conferencias más importantes que han acontecido en contra de los efectos del cambio climático y calentamiento global. Aunque el fin ha sido siempre el mismo, el cual busca disminuir las emisiones de GEI, cada uno de ellos lo ha hecho a su propio criterio y posibilidad; esto debido principalmente a su situación económica, política y social actual, no es lo mismo una disminución de la producción al principal exportador de aceite crudo como lo es Arabia Saudita a un país en vías de desarrollo donde su principal fuente de ingreso depende en la producción y exportación de este bienpreciado. Por lo que, en conclusión, cada país buscará la forma de disminuir sus emisiones a su posibilidad, sin que su seguridad nacional se vea afectada ante tal disminución

Cuando se propuso el protocolo de Kioto se trataron de unificar esfuerzos, se identificó el problema y se buscaron soluciones para que el ser humano dejara de amenazar el equilibrio natural. Aunque la disminución del 5% respecto al año 1990 en las emisiones de los GEI no fue suficiente comparado con la rápida aceleración del consumo y los contaminantes que estas generaban. Por lo que se debió en este entonces ser más ambicioso y desde ese entonces ver que las emisiones no iban año tras año de manera lineal sino creciendo de forma exponencial. El planteamiento de una reducción mayor probablemente hubiese sido más ambicioso.

Capítulo 4: Implicaciones para los combustibles fósiles el límite de 2°C de aumento de temperatura

Introducción

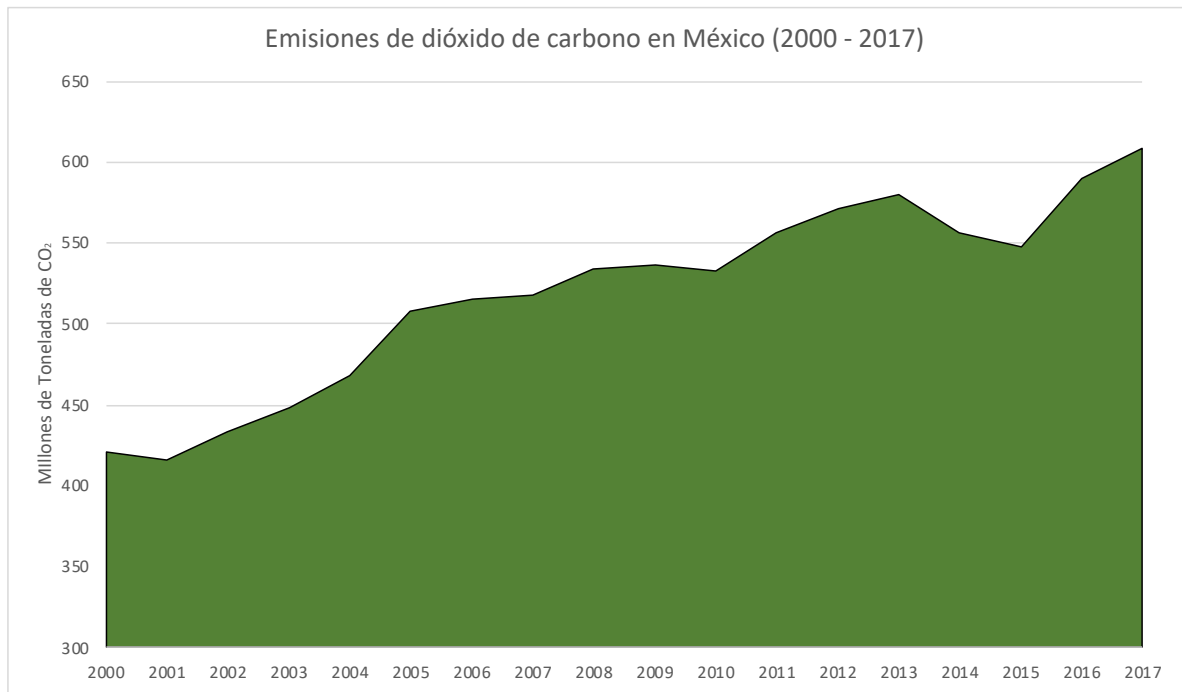
En este capítulo se analizará el compromiso que México tiene en el Acuerdo de París el cual dicta: “México reducirá sus emisiones en 25% para el año 2030, cumpliendo con cinco acciones primordiales: alcanzar una tasa cero de deforestación, mejorar la capacidad adaptativa de los 160 municipios más vulnerables, proteger a la población de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica del país y de los ecosistemas y desacoplar el crecimiento económico de la emisiones de los contaminantes de efecto invernadero”.

¿Qué implicaciones tiene el límite de 2°C como máximo de aumento a la temperatura sobre la producción y el consumo de combustibles fósiles en México. La pregunta central que buscamos responder es la siguiente: ¿cuál es el presupuesto de carbono de México, es decir, cuál es la máxima cantidad de CO₂ que podría emitir respetando el Acuerdo de París? ¿el presupuesto carbono implicaría dejar reservas de hidrocarburos sin explotar?

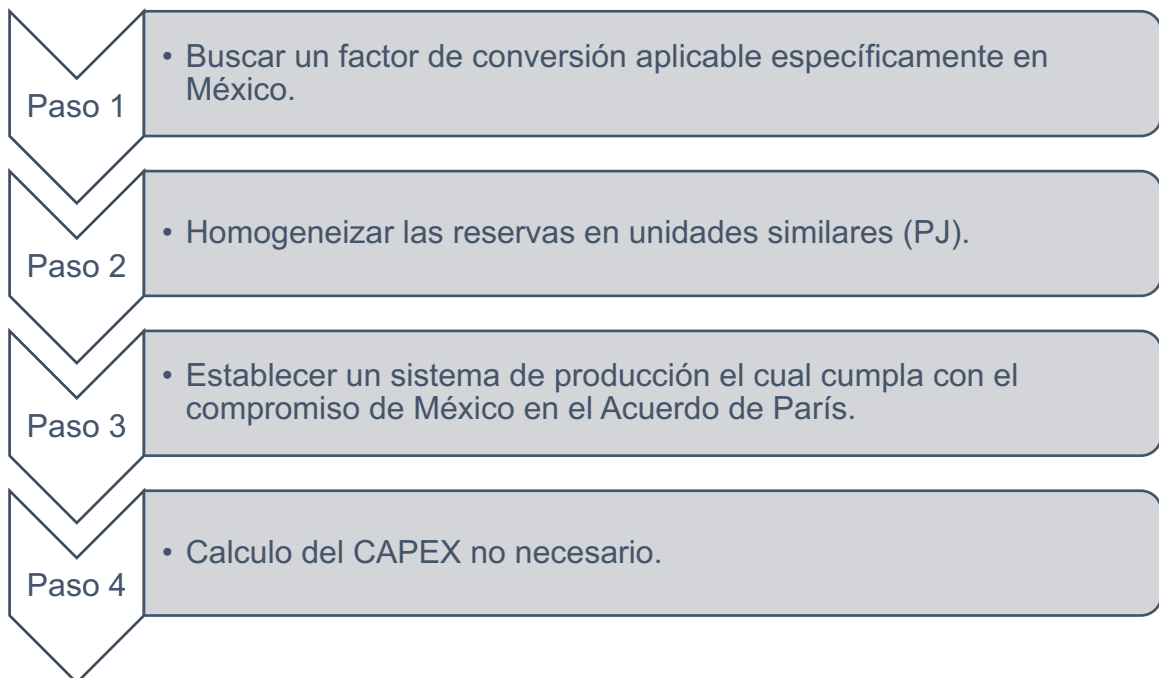
Producción de dióxido de carbono (CO₂)

En la gráfica 4.1 se presenta la evolución de la producción de CO₂ en México en el periodo 2000-2017. Se aprecia una clara tendencia ascendente de los últimos 3 años a la actualidad y en los últimos 20 años ha existido un aumento cercano al 50% (de 430 a 607 millones de toneladas de CO₂).

Gráfico 4.1 Emisiones de dióxido de carbono por consumo de energía en México (2000-2017)



Fuente: IPCC / INECC



Factor de equivalencia

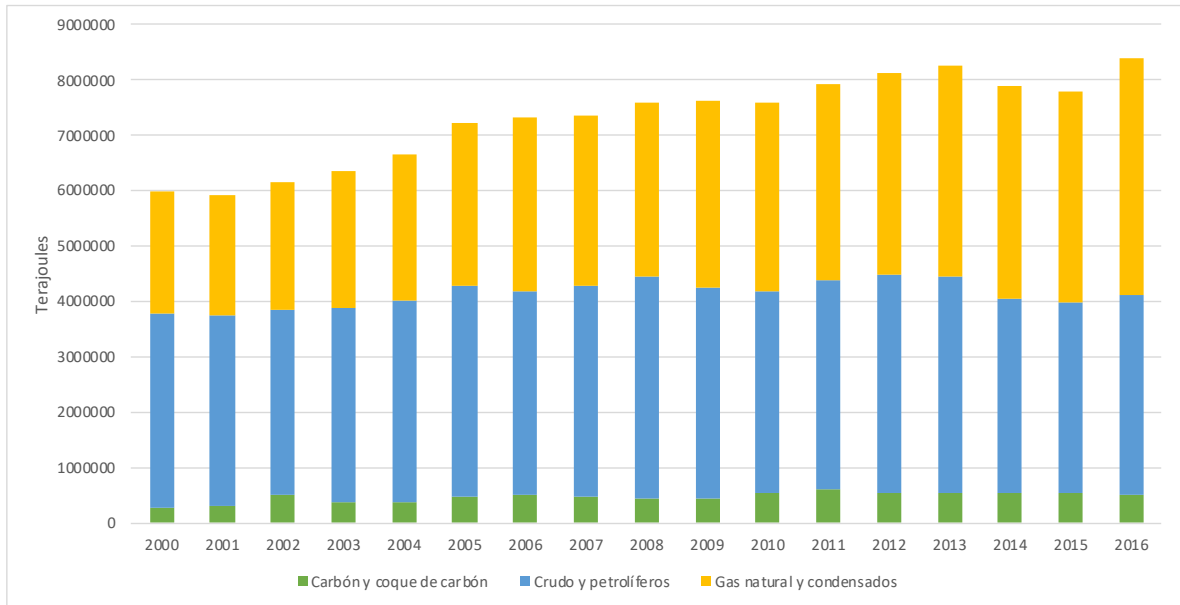
La finalidad de obtener un porcentaje de participación respecto al total, es que siguiendo esta técnica se procede a crear un factor de conversión que sea aplicable a todos los combustibles fósiles, además de desglosar los datos en bruto como las emisiones dadas en millones de toneladas de dióxido de carbono que se muestra en el banco de datos del Sistema de Información Energética. Debido a esto se busca la implementación de este factor el cual resulta fundamental en los cálculos futuros.

Debido a que no existe un factor general aplicable establecido para contabilizar de manera específica los hidrocarburos de México con respecto a la cantidad de dióxido de carbono de emisiones generadas, en esta tesis se propone un factor de conversión aplicable a las características específicas de carbón y coque de carbón; crudo y petrolíferos; gas natural y condensados, con la finalidad de desintegrar datos brutos, esto quiere decir que los datos que se muestran tanto en el INECC como en IPCC consideran las emisiones totales de los combustibles fósiles en conjunto y no de manera específica, es decir, de que hidrocarburo provienen las emisiones de dióxido de carbono.

Para desintegrar el total de emisiones de dióxido de carbono medidos, se propone crear un promedio ponderado conforme al histórico de producción de los principales hidrocarburos (*SIE SENER*), considerando como despreciables los rubros de: procesos industriales y uso de productos y residuos. Teniendo como objetivo final poder integrar o desintegrar los datos que están en toneladas de dióxido de carbono (ton CO₂), así como saber particularmente cuanto dióxido de carbono nos dará la combustión de cada hidrocarburo en particular.

Se toma como punto de partida la producción de energía proveniente de combustión de hidrocarburos en terajoules (TJ) del año 2000 al año 2016 (*ver gráfico 4.2*) viendo la participación de cada combustible fósil en la generación de energía en México, se puede observar que el carbón y coque de carbón se ha mantenido de cierta forma constante y las únicas variables que han sufrido cambios han sido el crudo y el gas, ganando partido el gas respecto al aceite en los últimos años.

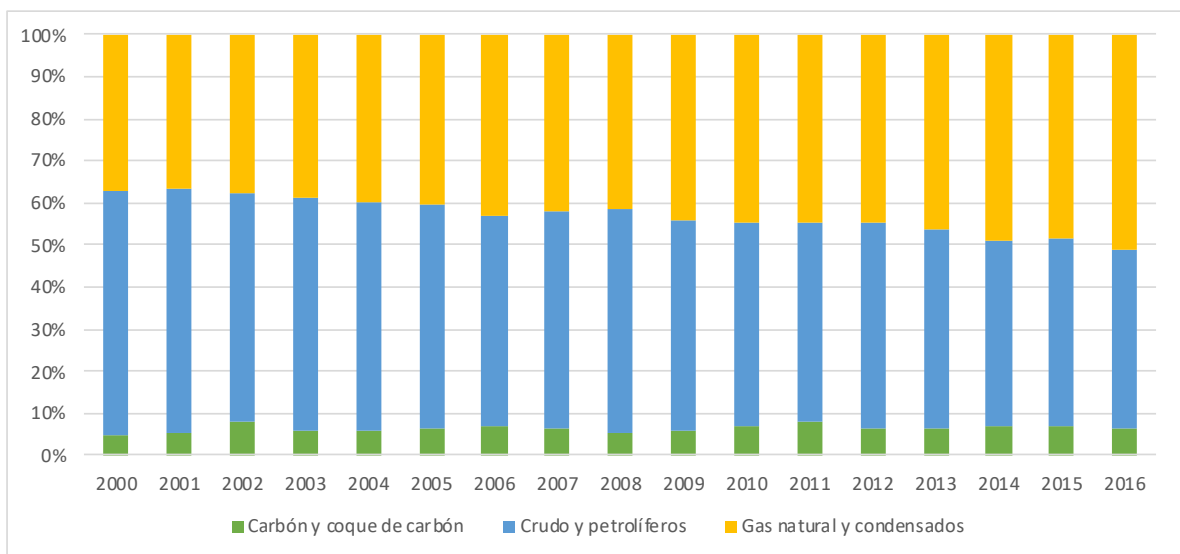
Gráfico 4.2. Histórico de producción energética proveniente de combustibles fósiles (2000 – 2016).



Fuente: SIE SENER – Edición propia.

Ya que se tiene la historia de producción energética desglosada por año y por combustible fósil se hace una relación entre la aportación de cada combustible fósil y el total. Dando así un promedio de participación de cada hidrocarburo por año (ver gráfico 4.3).

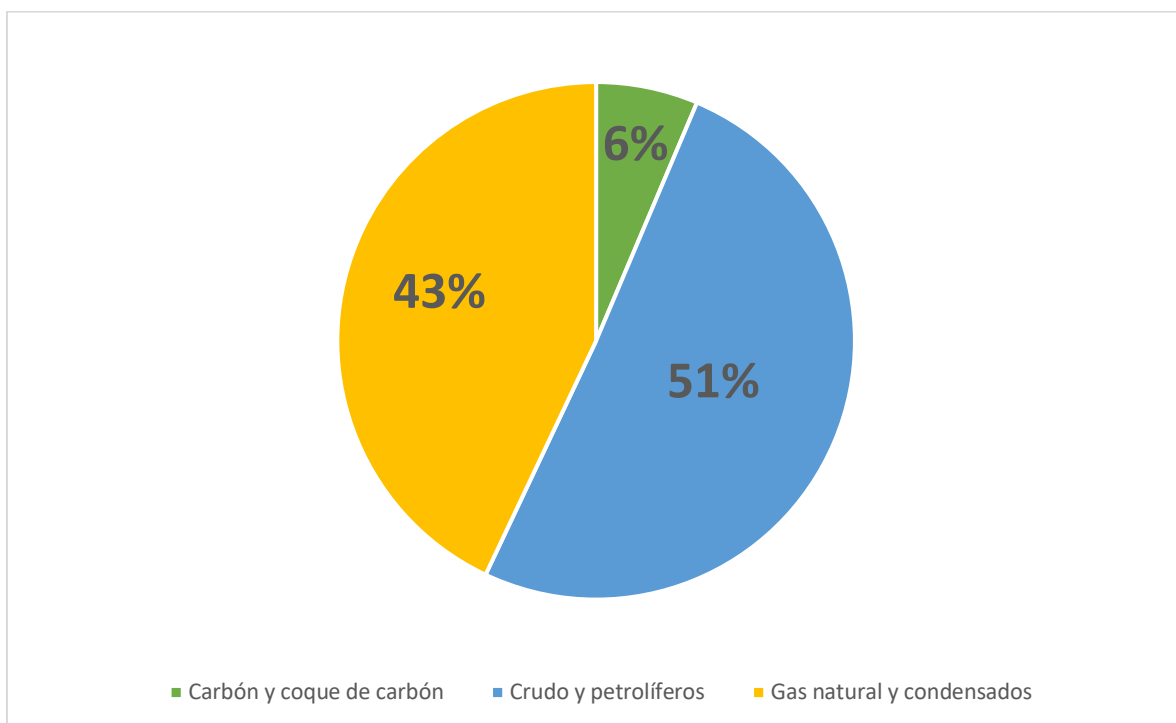
Gráfico 4.3. Estructura de la producción de energía fósil entre 2000 y 2016.



Fuente: SIE SENER – Edición propia.

Una vez que se obtuvo la participación de cada combustible fósil anual respecto al total se hace un promedio desde el año 2000 al año 2016. En el *gráfico 4.4* se muestra el porcentaje de participación de cada combustible fósil en el periodo de tiempo descrito.

Gráfico 4.4. Relación del promedio anual ponderado de cada combustible fósil respecto al periodo comprendido entre el año: 2000 a 2016.



Fuente: SIE SENER – Edición propia.

Teniendo los promedios ponderados de cada combustible fósil, se procede a crear el factor de emisiones contaminantes aplicable a los cálculos posteriores para este trabajo, en la *tabla 4.1* se muestran los factores de conversión entre emisiones de dióxido de carbono y poder calorífico de cada hidrocarburo, así como su promedio ponderado obtenido del *gráfico 4.4*.

Tabla 4.1. Emisiones por hidrocarburo en [KGCO₂ / TJ] aplicables para los hidrocarburos de México.

Hidrocarburo	Promedio ponderado [%]	Factor de conversión [KGCO ₂ / TJ]
	A	B
Carbón y coque de carbón	6%	96800.0
Crudo y petrolíferos	51%	74497.5
Gas natural y condensados	43%	61420.0

Fuente: IPCC 2016 Cuadro 2.2

De la tabla 4.1 se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de emisiones contaminantes} = \sum A_i \times B_i$$

Dando como resultado:

$$\text{Factor de emisiones contaminantes} = 70,299.91 \left[\frac{\text{KG CO}_2}{\text{TJ}} \right]$$

Debido a que la producción del coque de carbón es varias veces menor comparándose contra los otros hidrocarburos, no interfiere de manera sustancial al factor de emisiones contaminantes. Siendo los factores de conversión tanto del gas y como del petróleo los más allegados a este factor. El IPCC e INECC coinciden en que el rango va desde los $55,000 \frac{\text{KG CO}_2}{\text{TJ}}$ a $65,000 \frac{\text{KG CO}_2}{\text{TJ}}$ para el caso del gas natural y desde los $65,000 \frac{\text{KG CO}_2}{\text{TJ}}$ a $75,000 \frac{\text{KG CO}_2}{\text{TJ}}$ en el caso de los petrolíferos.

En este trabajo de tesis se considera aplicable a cualquier combustible fósil que genere energía en México y se utilizará como factor de conversión para los siguientes cálculos.

Dado que los combustibles fósiles están en distintas unidades volumétricas, se busca convertirlos en unidades homogéneas para la manipulación y cálculos, ver tabla 4.2.

Tabla 4.2. Factor de conversión de cada combustible fósil a emplear.

<i>Hidrocarburo</i>	<i>Factor de conversión</i>	<i>Unidades</i>
<i>Carbón y coque de carbón</i>	0.9202	$\left[\frac{\text{MMMPC}}{\text{PJ}} \right]$
<i>Crudo y petrolíferos</i>	0.1635	$\left[\frac{\text{MMB}}{\text{PJ}} \right]$
<i>Gas natural y condensados</i>	0.0341	$\left[\frac{\text{MMTon}}{\text{PJ}} \right]$

Fuente: IPCC 2016

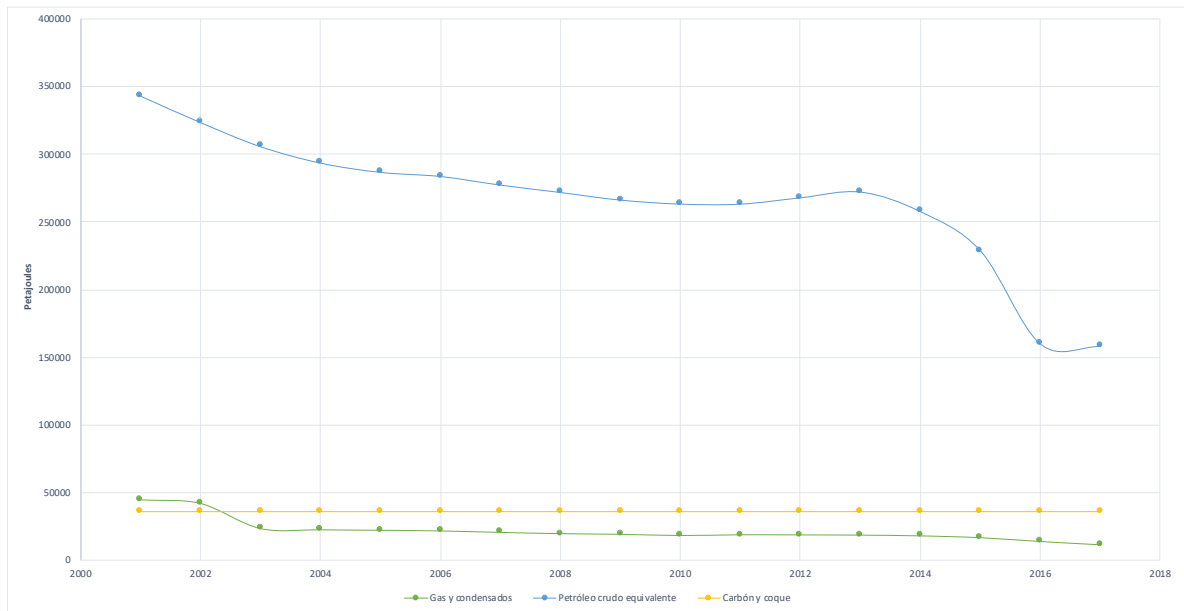
Una vez que tenemos el factor de equivalencia aplicable a los combustibles fósiles en México se procede a desintegrar los datos en bruto que nos muestran nuestras fuentes de información (IPCC, INECC, SIE, etc.) con la finalidad de tener un volumen específico de cada combustible.

Consideraciones

En este trabajo de investigación se analizarán las reservas 3P las cuales representan las reservas probadas, probables y posibles.

Por lo que se utilizará el siguiente gráfico (*ver gráfica 4.2*) para este estudio. Utilizando los factores de conversión se establecen los petajoules como unidad homogénea de energía en los cálculos (*ver gráfica 4.5*), con lo que se es más fácil la manipulación de datos y se tiene una idea más clara de que es lo que se debe de reducir, fomentar y mantener para cumplir con el Acuerdo de París.

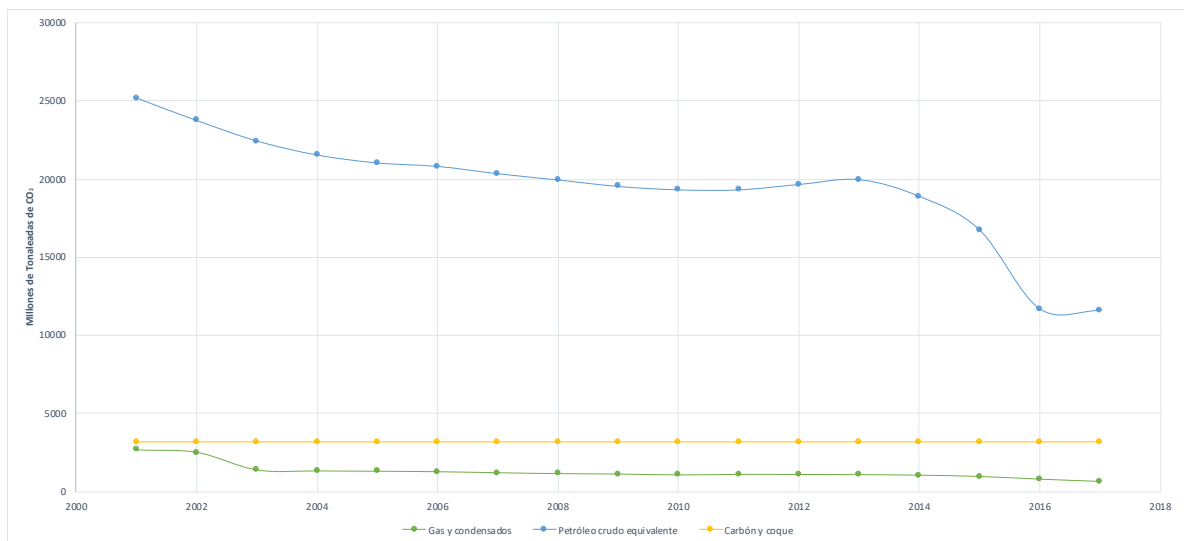
Gráfico 4.5. Reservas en PJ de combustibles fósiles en México (2000 – 2017).



Fuente: Edición propia.

Una vez que se tienen las reservas de cada combustible fósil en unidades homogéneas podemos hacer la conversión a su equivalente a millones de toneladas de CO₂ (ver gráfica 4.6), con la finalidad de analizar que volumen de producción de cada hidrocarburo resulta más contaminante por volumen.

Gráfico 4.6. Reservas en Millones de Toneladas de CO₂ de los principales combustibles fósiles en México (2000 – 2017).



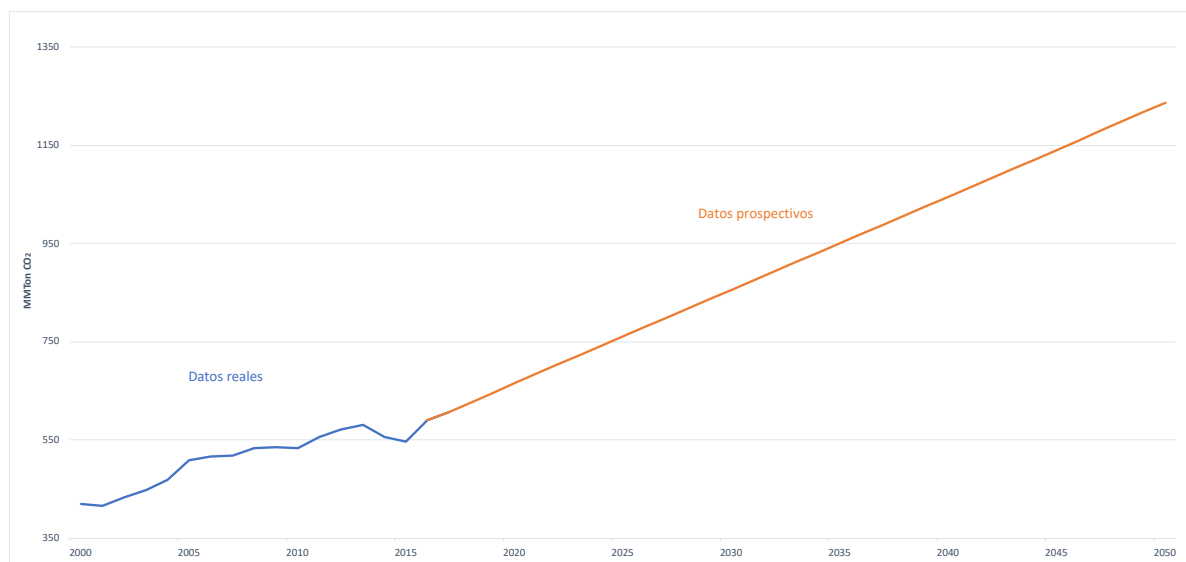
Fuente: Edición propia.

En el paso 1 se busco un factor de conversión el cual dependiendo de las propiedades de los combustibles fósiles en México fuera lo más acercado posible, para el paso 2 se busco homogeneizar las reservas en unidades constantes las cuales fueran maleables para los cálculos que se requieren en este trabajo de investigación. Para el paso 3 se busca crear un sistema de producción el cual satisfaga el no aumento de temperatura y lo que México ha establecido como metas para el Acuerdo de París.

Línea base

Siguiendo las líneas de tendencia actual respecto a la emisión de gases de efecto invernadero y en especial el dióxido de carbono, se hace una regresión lineal para predecir qué pasaría si se siguen consumiendo hidrocarburos con la misma intensidad como hasta ahora (ver gráfico 4.7), extrapolando los datos se puede apreciar y cuantificar, como va a ser la generación energética en las próximas décadas. A esta línea de tendencia extrapolada de las emisiones producidas en México se le denominará: **“línea base”**.

Gráfico 4.7. Emisiones de dióxido de carbono en México Miles de millones de toneladas de CO₂



Fuente: SIE – SENER / Edición propia.

A partir de la línea base se proponen diversos escenarios, mitigando el crecimiento ascendente y obviando que para el año de 2050 se logrará el objetivo de reducir la cantidad de dióxido de carbono a la mitad de lo producido en el año 2000 y así cumplir con el Acuerdo de París, no rebasando el límite de los 2°C.

Escenarios de mitigación de hidrocarburos

Para luchar contra el cambio climático se establecen dos escenarios principales.

- Escenario compromiso:

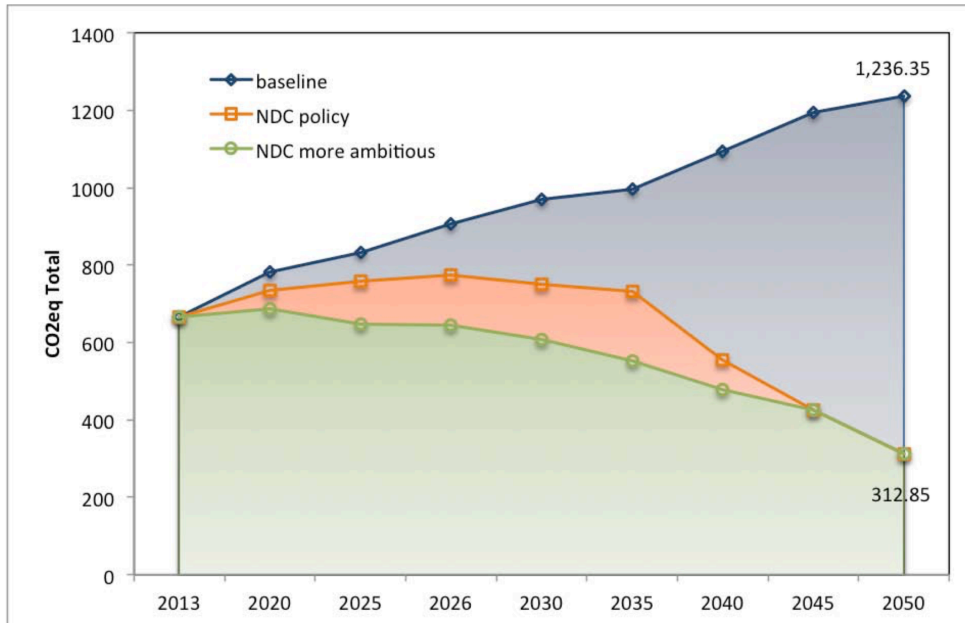
Se plantea una reducción del 22% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2030 y la reducción del 51% para el carbón negro. Para el año 2050, con base a la simulación de la trayectoria en 2030 de GEI, se planea una reducción del 50% de GEI con respecto a las emisiones del año 2000.

- Escenario más ambicioso

Para este escenario se plantea una reducción del 36% a 2030, 70% de reducción de carbón negro. y esperando que para el año 2050 exista una reducción del 50% respecto al año 2000.

En el *gráfico 4.8* se puede ver una proyección de lo que el gobierno de México pretende hacer dando así su panorama y sus limitaciones en años futuros de la producción de hidrocarburos y emisiones de dióxido de carbono. Esta línea base presentada incluye agricultura así como residuos orgánicos (basura) que también generan GEI aunque en la gráfica no se hace la reducción forestal la cual absorbe parte de esos GEI.

Gráfico 4.8. Escenarios de mitigación de gases de efecto invernadero en México.



Fuente: Estrategia contra el cambio climático México 2016. COP22

Se propone la simulación de dos escenarios con la finalidad de establecer valores objetivo anualmente y así poder reducir las emisiones de dióxido de carbono, cumpliendo al pie de la letra con lo establecido en el Acuerdo de París. Cabe resaltar que esta simulación de datos es creada con base a lo que México expuso en la COP 22. Asumiendo que México cumple con lo antes mencionado, se puede tener una idea muy aproximada del valor de los hidrocarburos que se dejarán de producir y el CAPEX que México dejara de invertir en la extracción de combustibles fósiles.

Una vez vistos lo antecedentes y prospectivas oficiales, se tomarán dos escenarios de mitigación para desarrollar lo que México propone realizar, así como para dar una opción adicional a este escenario.

Escenario compromiso:

- Continúa el consumo y producción de aceite crudo y gas natural como hasta ahora.

- Para 2020, existe una reducción del 20% respecto a la línea base.
- Para 2030, existe una reducción del 46% respecto a la línea base.
- Para 2040, se plantea una reducción del 50% respecto al año 2010.
- Para 2050, se plantea una reducción del 50% respecto al año 2000.

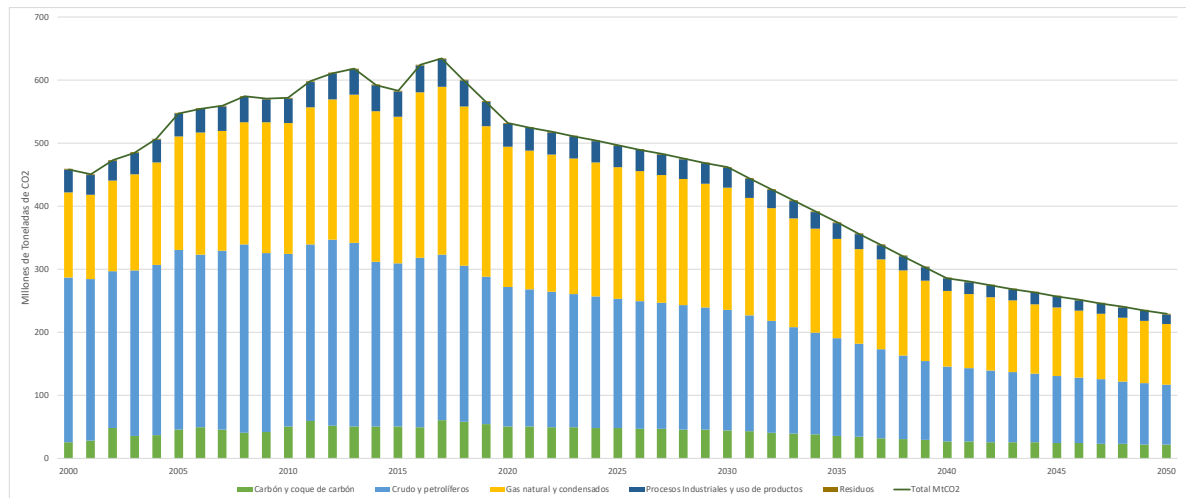
Escenario más ambicioso:

- Aumenta un 30% el consumo de gas natural respecto al aceite crudo.
- Para 2020, existe una reducción del 20% respecto a la línea base.
- Para 2030, existe una reducción del 50% respecto a la línea base.
- Para 2040, se plantea una reducción del 50% respecto al año 2010.
- Para 2050, se plantea una reducción del 50% respecto al año 2000.

Escenario compromiso

A continuación, se muestra el escenario compromiso (*ver gráfico 4.9*). En el gráfico 4.9 se muestran las emisiones máximas permitidas anuales las cuales cumplen satisfactoriamente con el Acuerdo de París, y se muestra que no existe cambio aparente entre transición de petróleo a gas natural.

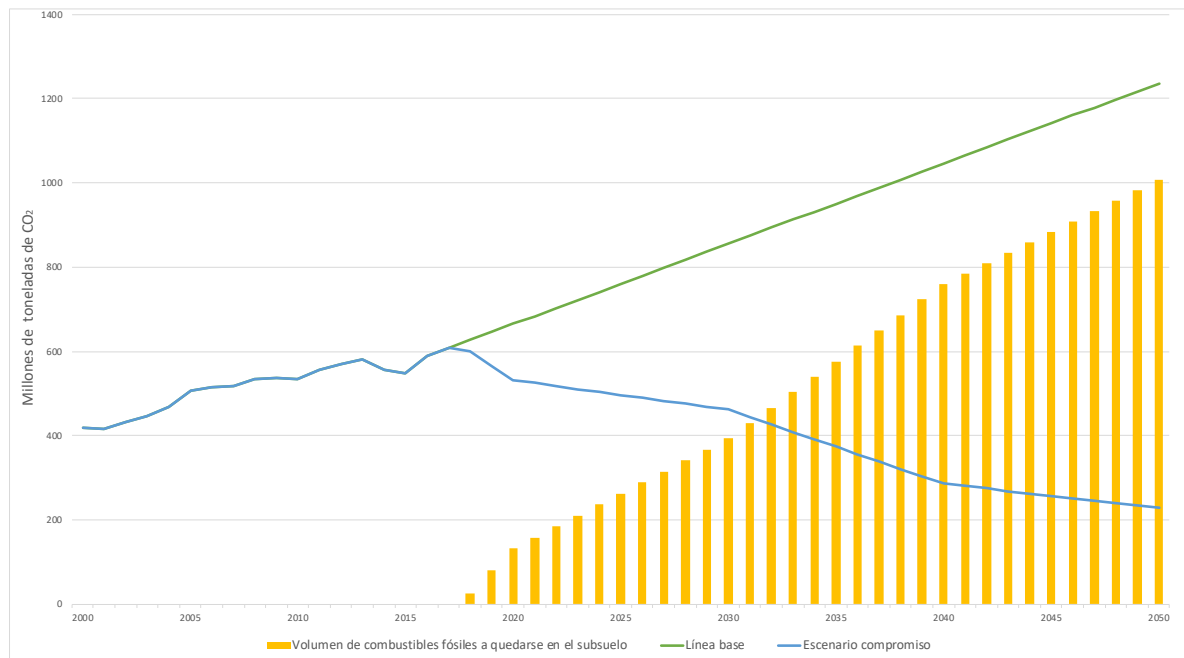
Gráfico 4.9. Escenario compromiso: Emisiones de dióxido de carbono objetivo en México por combustible fósil (2000 – 2050).



Fuente: Edición propia.

El siguiente paso es calcular la diferencia entre la línea base y el escenario compromiso (ver gráfico 4.10) con la finalidad de obtener el valor del volumen que se tendrá que dejar en el subsuelo, obteniendo el volumen de hidrocarburos sin producir anualmente para que así al final de nuestro periodo de análisis, se obtenga el total acumulado de hidrocarburos a quedar *in situ*, lo que en términos de GEI corresponde al volumen de dióxido de carbono que no se llevara del subsuelo a la atmósfera.

Gráfico 4.10. Escenario compromiso: Volumen de combustibles fósiles a quedarse en el subsuelo en México (2000 – 2050).



Fuente: Edición propia.

El acumulado de este volumen de hidrocarburos a quedarse en el subsuelo va a ser iguala la sumatoria por año desde 2017 hasta el año 2050. Por lo que para las condiciones de reducción de emisiones y baja de la producción de hidrocarburos se obtiene que para el año 2050 se logrará mantener en el subsuelo la cantidad de:

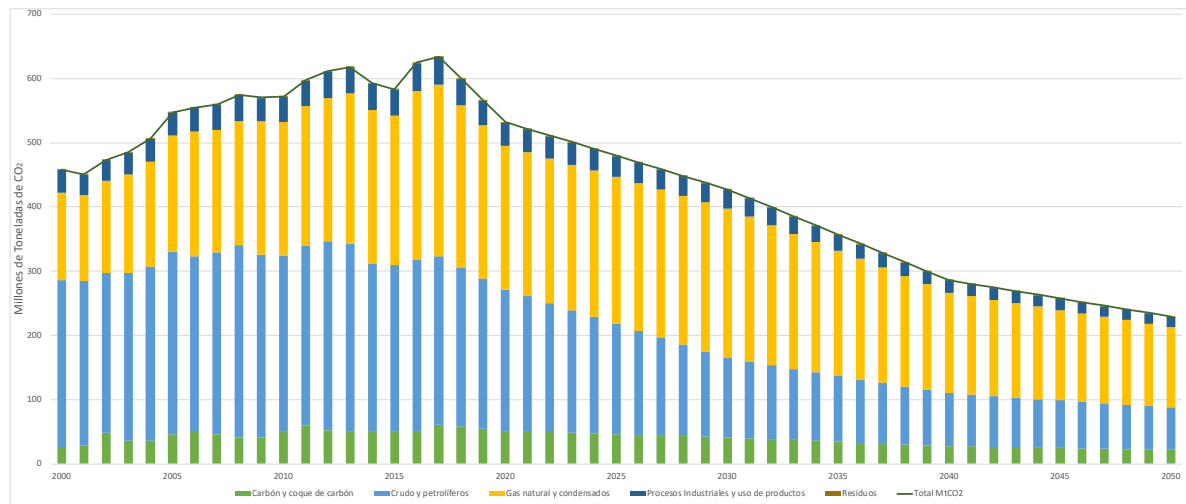
$$\text{Reservas a quedarse en el subsuelo} = 1,997.6 \text{ Mton de } CO_2$$

Escenario más ambicioso

En el escenario más ambicioso, se considera que la demanda de gas natural ha ido en aumentado debido a la generación energética de ciclos combinados, la cual resulta ser más eficiente que otros métodos de generación eléctrica. Dado el hecho anterior se puede pronosticar y afirmar que en los próximos años la demanda del gas natural superará la demanda de petróleo. Cabe mencionar que desde el punto de vista ambiental si se tiene que combustionar un hidrocarburo, el gas natural es el que tiene un menor factor de emisiones contaminantes respecto a los demás

hidrocarburos. Dicho esto se puede apreciar en la gráfica (ver gráfico 4.10) que a pesar de que se producen la misma cantidad de hidrocarburos, se emiten menos toneladas de dióxido de carbono. O viceversa, si tenemos que llegar a un límite de contaminantes, el volumen de gas natural será mayor al del aceite crudo debido a lo ya antes mencionado.

Gráfico 4.11. Escenario más ambicioso: Emisiones de dióxido de carbono objetivo en México considerando 30% más producción de gas que aceite crudo (2000 – 2050).

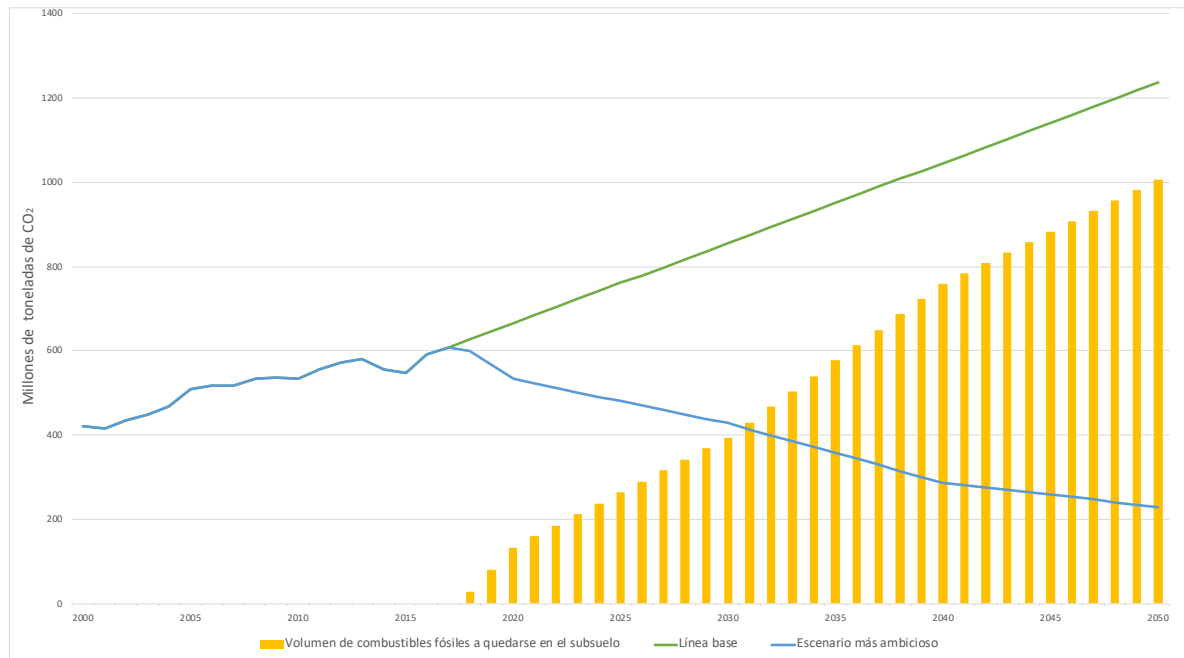


Fuente: Edición propia.

En el gráfico 4.11, si la producción de gas natural aumenta como se ha ido presentando en los últimos años (valores reales de SIE – SENER) se pronostica que para el año 2050 por cada *barril* de aceite crudo se necesitara *1.90 pies cúbicos* de gas natural, representando este año su máximo de demanda energética del gas natural.

Debido a que se tiene restricción en la emisión de dióxido de carbono, y que este parámetro es el que nos dictamina cuanto si y cuanto no se debe de quedar a nivel subsuelo, se recomienda apostar hacia el hidrocarburo que tenga un factor de emisión contaminante más bajo (gas natural en nuestro caso específico), si es que se quiere seguir empleando algún hidrocarburo para seguir produciendo energía.

Gráfico 4.12. Escenario más ambicioso: Volumen de combustibles fósiles a quedarse en el subsuelo en México (2000 – 2050).



Fuente: Edición propia.

Para el escenario más ambicioso, debido a que se produce más gas natural y condensados respecto a petróleo crudo, y que el gas tiene un factor de emisión contaminante sumamente menor que el de petróleo crudo, se puede extraer anualmente una mayor cantidad de gas natural, conservando la misma cantidad de millones de toneladas de dióxido de carbono anual.

Haciendo la sumatoria anual de lo que se renunciaría voluntariamente de combustibles fósiles a dejar de extraer se obtiene como resultado:

$$\text{Reservas a quedarse en el subsuelo} = 2,339.8 \text{ Mton de CO}_2$$

Esta cifra claramente es mayor al escenario uno ya que como se menciono antes, al extraer en su mayoría gas natural, se obtiene un doble beneficio, por un lado, se podrá extraer una mayor cantidad de volumen de hidrocarburo, y por otro lado será menor contaminante pudiendo dejar una mayor cantidad de giga toneladas de dióxido de carbono en el subsuelo.

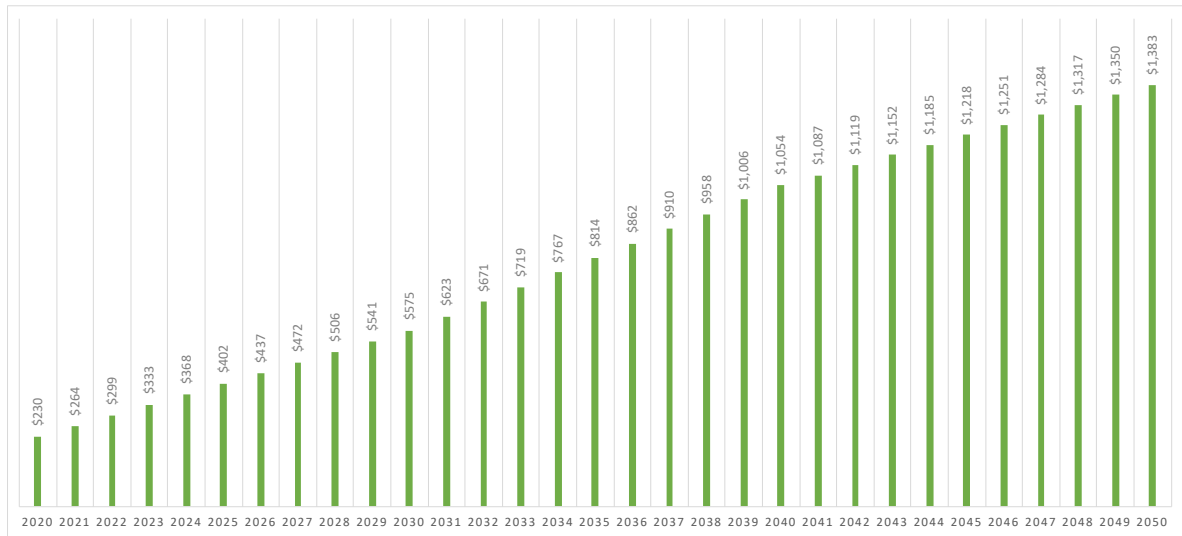
Esta determinación abre nuevas propuestas respecto hacia a que hidrocarburo se debe apostar a futuro.

Estimación económica de las reservas a dejar en subsuelo o a exportar

Los acuerdos internacionales sobre cambio climático hablan sobre la disminución del consumo primario de combustibles fósiles garantizando el cumplimiento del no aumento de la temperatura. Como tal no establece obligaciones sobre la producción, dicho esto, México puede reducir su consumo de petróleo pero seguir produciendo para la exportación. Este trabajo de tesis parte del supuesto que una reducción en el consumo buscando que el excedente de combustibles fósiles se dirija a la exportación. Países como Arabia Saudita están dejando de consumir petróleo pero su producción sigue constante debido a que el excedente se va a exportación. Se busca entonces que México trate de ser un país productor-exportador el cual no consume su propia producción.

En el caso del carbón, las cotizaciones que hace en bolsa para el carbón negro, lo sitúan a 34.05 dólares por tonelada de mineral, dato obtenido el primero de enero de 2021. El valor anual de las reservas de carbón a dejar en subsuelo serán la multiplicación unitaria del valor por la producción anual ver *gráfica 4.13*. Dando un gran total acumulado de \$25,156 millones de dólares de 2020 a 2050, el cual o se deja de producir o se va a exportación. Cabe resaltar que en el caso del carbón no existe diferencia de producción entre el escenario compromiso y el escenario más ambicioso.

Gráfico 4.13. Estimación económica del carbón y coque de carbón a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.

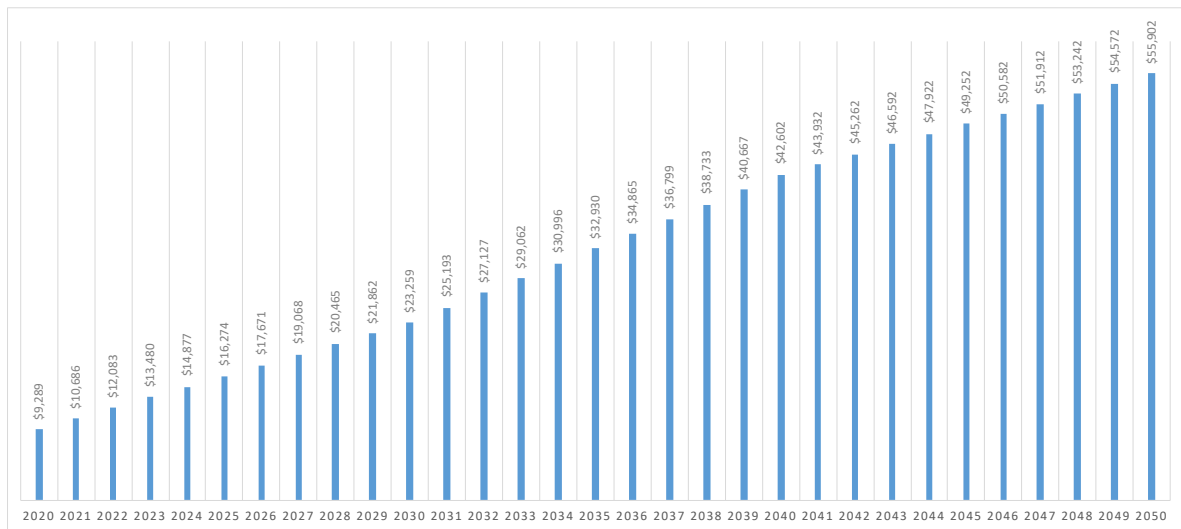


Fuente: Edición propia. *Datos en Millones de dólares.

Para el caso del petróleo crudo equivalente se considera el precio de 54.34 dólares por barril, dato obtenido el primer trimestre del 2021. Los valores que se muestran a continuación se obtienen de la multiplicación unitaria del costo del barril por el valor del volumen a dejar o exportar anualmente.

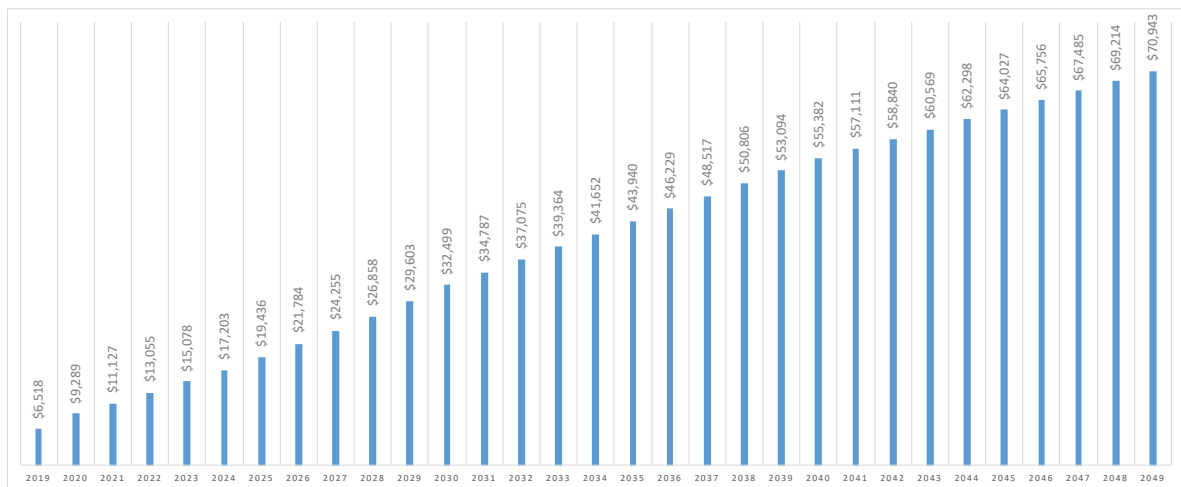
Para el escenario compromiso se obtiene un total acumulado de \$1,017 billones de dólares ver *gráfico 4.14* y de un total acumulado de \$1,319 billones de dólares para el escenario más ambicioso ver *gráfico 4.15*, lo cual representa una diferencia del 22.9% entre un escenario y otro.

Gráfico 4.14. Escenario compromiso. Estimación económica del aceite crudo a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.



Fuente: Edición propia. *Datos en Millones de dólares.

Gráfico 4.15. Escenario más ambicioso. Estimación económica del aceite crudo a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.



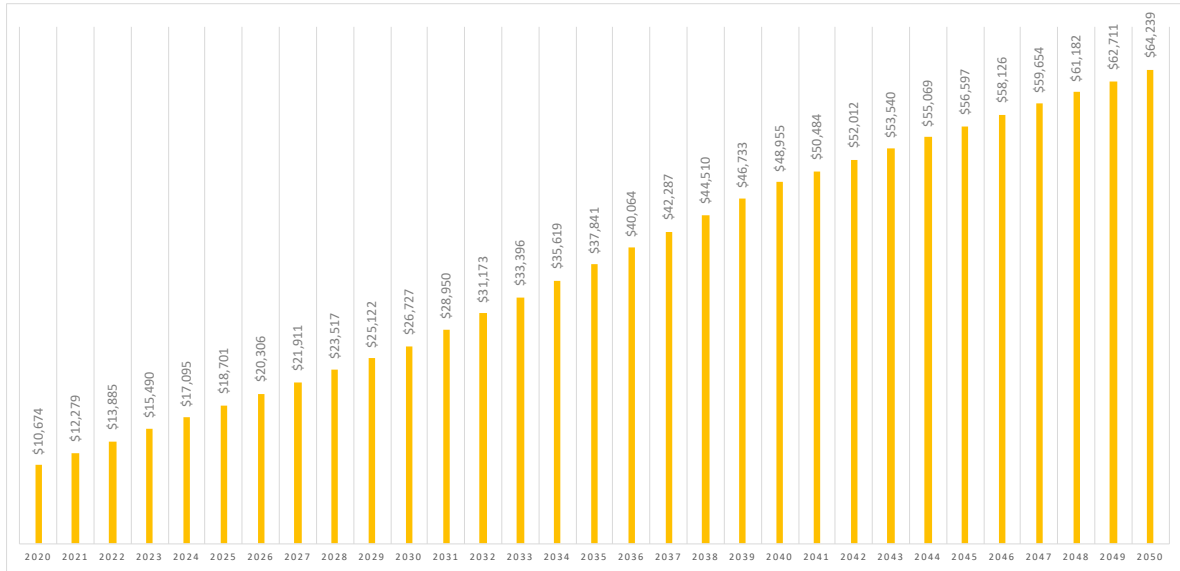
Fuente: Edición propia. *Datos en Millones de dólares.

En el caso del gas natural el valor unitario es de 9.25 dólares por millar de pie cúbico. Los valores que se muestran en seguida serán el producto de multiplicar el valor unitario por el volumen anual, obteniendo un total acumulado de \$1,168,849 millones de dólares para el escenario compromiso, ver *gráfico 4.16*.

Para el escenario más ambicioso se tendrá un total acumulado comprendido de \$855,860 millones de dólares, ver *gráfico 4.17* El escenario compromiso es 48.5%

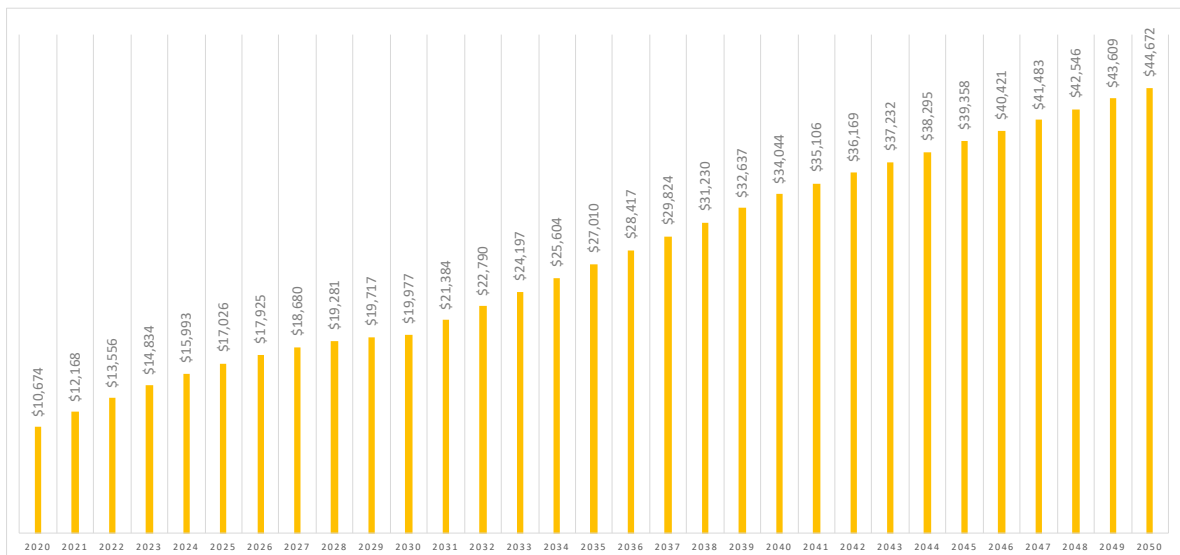
mayor respecto al escenario más ambicioso. Esto debido a las condiciones antes establecidas donde se busca que el gas natural sea el principal hidrocarburo en México.

Gráfico 4.16. Escenario compromiso. Estimación económica del gas natural a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.



Fuente: Edición propia. *Datos en Millones de dólares.

Gráfico 4.17. Escenario más ambicioso. Estimación económica del gas natural a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.



Fuente: Edición propia. *Datos en Millones de dólares.

CAPEX

Renunciar voluntariamente a extraer un hidrocarburo del subsuelo, no solo representa pérdidas, sino que también plantea la idea de que se debe dejar de invertir en los costos de capital para extraer esta fuente energética y a pesar de que las ganancias percibidas no serán cercanas a las que se obtiene al extraer un hidrocarburo ya sea para exportación o para el mismo consumo nacional, se deben de tener en cuenta las externalidades sociales, ecológicas, ambientales y de bienestar hablando de salud para la población y las futuras generaciones.

Existe un factor de conversión (*Fuente: Carbon Tracker & ETA analysis of Rystad UCube & Wood Mackenzie Ltd GEM*) El cual indica que por cada 1 giga tonelada de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e) equivale a dejar de invertir la cantidad de 52.16 billones de dólares (1 billón = 1,000 millones de dólares [\$bn]).

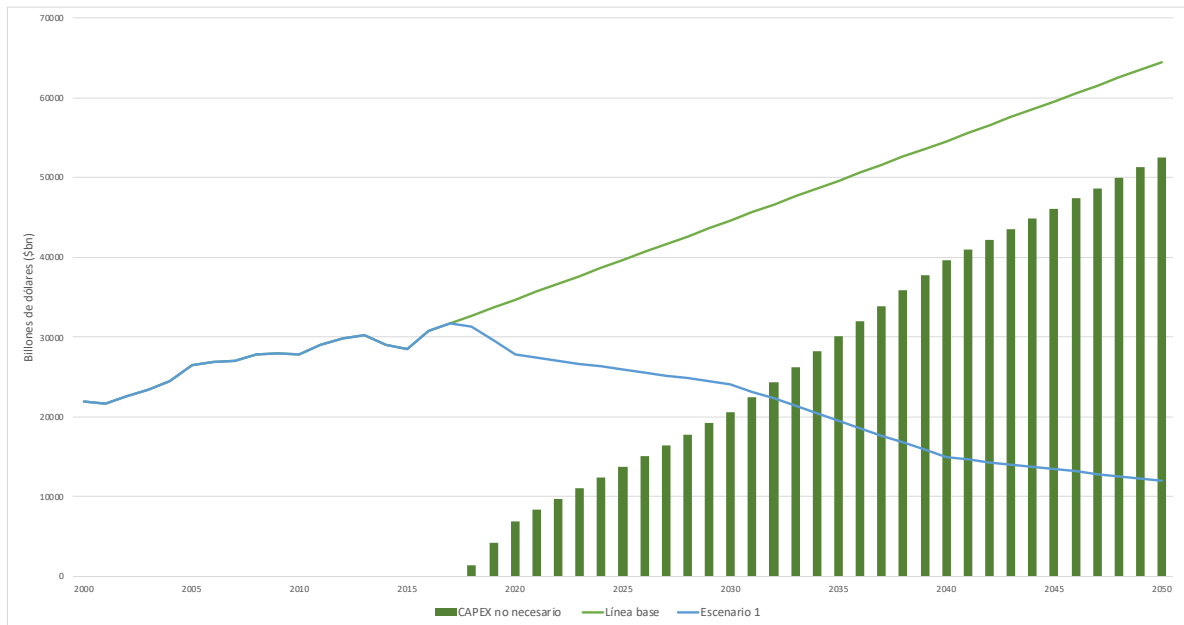
$$52.16 \frac{\$bn}{GtCO_2e}$$

Por lo que para cada uno de los escenarios queda de la siguiente manera:

Escenario compromiso – CAPEX

Se ha visto que el escenario compromiso se considera como el menos ambicioso, dado a que sigue la principal línea de tendencia centrada en petróleo crudo y sus condensados, este ha resultado ser un hidrocarburo altamente contaminante, no a grados excesivos como lo suele ser el carbón y el coque, pero si a un grado de suma consideración y es que este se ha sobreexplotado con fines económicos, dejando en segundo plano la ecología y las externalidades de este bienpreciado.

Gráfico 4.18. Escenario compromiso: CAPEX no necesario en México (2000 – 2050).



Fuente: Carbon Tracker & ETA analysis of Rystad UCube & Wood Mackenzie Ltd GEM / Edición propia.

Como se muestra (ver gráfica 4.18) lo que México se ahorrará al final de este periodo será un total acumulado de:

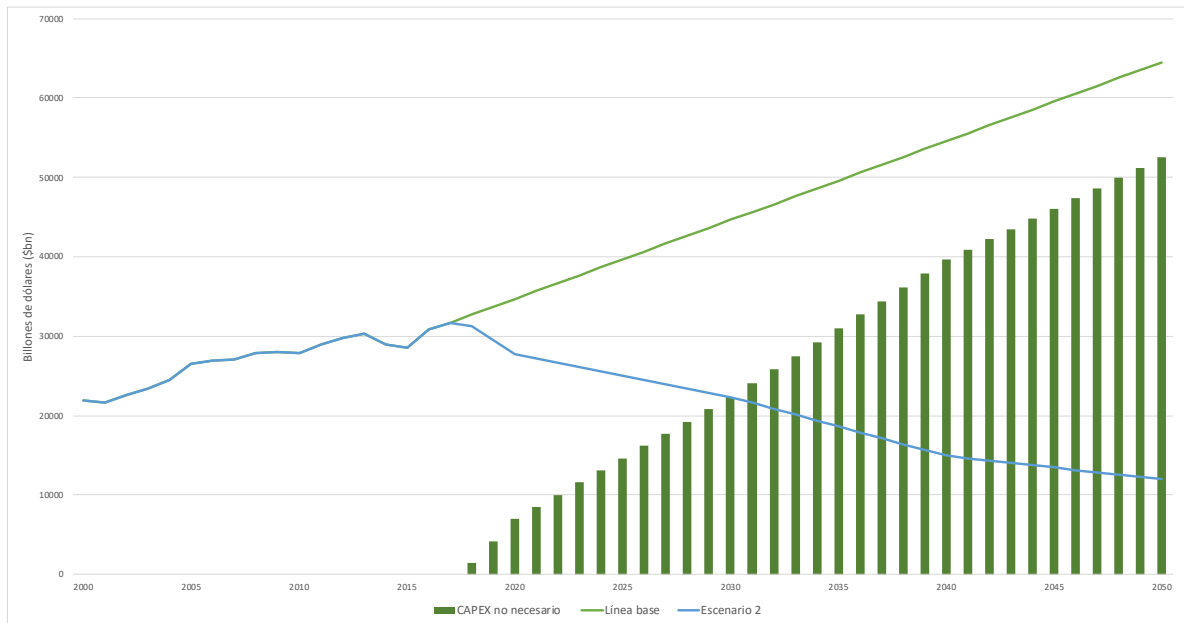
CAPEX no necesario en el escenario compromiso = 104 mil 210 millones de dólares.

Esta será la cifra que México podrá ahorrar una inversión al renunciar voluntariamente a los hidrocarburos tomando el escenario de mitigación número 1.

Escenario más ambicioso - CAPEX

Por su parte el escenario más ambicioso muestra un mayor ahorro en cuestión a inversión (ver gráfica 4.19) y confirmando lo anteriormente expuesto, el gas natural funge como el hidrocarburo menos contaminante y su vez el que mayor beneficio dará en aspectos económicos, ecológicos, sociales y ambientales.

Gráfico 4.19. Escenario más ambicioso: CAPEX no necesario en México (2000 – 2050).



Fuente: Carbon Tracker & ETA analysis of Rystad UCube & Wood Mackenzie Ltd GEM / Edición propia.

Por lo que México, tomando como medida de mitigación el caso más ambicioso estará teniendo un ahorro total acumulado de:

CAPEX no necesario en el escenario más ambicioso = 122 mil 60 millones de dólares.

Conclusión

Para efectos de cálculos de este trabajo de tesis se procedió en el primer paso a calcular un factor de equivalencia el cual fuera aplicable específicamente a las características específicas de los principales combustibles fósiles que México produce, se decidió hacer este calculo y no utilizar el de otra fuente debido a que el factor de equivalencia que utilizan instituciones como IPCC, se basa en tipos de aceite ligero y la mayoría de la producción en México es de aceite pesado tipo Maya.

Obteniendo el factor de equivalencia de $70,299.91 \left[\frac{KG CO_2}{TJ} \right]$.

Posteriormente se homogeneizaron las unidades de los combustibles fósiles con la finalidad de hacer más fáciles las comparativas y la manipulación de las cantidades.

Una vez teniendo todos nuestros datos en las mismas unidades se recreó cual debería ser la forma de producción anual de los combustibles fósiles según el compromiso de México en el Acuerdo de París, pero también se propuso un escenario que fuera más ambicioso y realista.

Ya que se obtuvieron los escenarios de producción de los combustibles fósiles se busco ver la viabilidad entre los escenarios haciendo un análisis en el CAPEX no necesario en cada escenario y dando otra perspectiva de cual escenario sería el mejor a emplear para un adecuado cumplimiento del compromiso.

Entre los escenarios propuestos existe una diferencia cercana a los 343 millones de toneladas de CO₂ a quedarse en el subsuelo escogiendo el escenario más ambicioso. Esto representa un 17% más del escenario compromiso, lo cual no es demasiado pero es una cifra que se puede dejar en el subsuelo si se enfoca en producir más gas natural que petróleo. A menor demanda de gasolinas menor será la demanda de petróleo y este decrecimiento en la demanda de combustibles directamente proporcional a la cantidad de motores de combustión interna que son sustituidos por motores eléctricos e híbridos, apostando entonces así a una disminución en la demanda de gasolinas.

Respecto al *capital expenditure* (CAPEX) no necesario, se estableció una diferencia cercana a los 16 mil millones de dólares entre el escenario compromiso al escenario más ambicioso, esto representa un ahorro considerable el cual puede ser invertido en programas de salud, sociales o abonos a deudas.

Finalmente, se muestran con números los beneficios de establecer el escenario más ambicioso de producción como el más óptimo teniendo al gas natural como principal combustible fósil.

Capítulo 5: ¿Qué implicaciones tendría la renuncia a extraer una parte de los combustibles fósiles remanentes en el subsuelo?

Introducción

En el capítulo anterior se mostraron dos escenarios que tiene México para cumplir su compromiso a nivel internacional de mantener el aumento de temperatura, se expusieron los motivos por los cuales es más viable apostar en los próximos años por el gas natural y a pesar de no recibir percepciones por producción de hidrocarburos, existen ahorros considerables en costos de inversión

En este capítulo se expondrán algunas de las implicaciones que tiene esta renuncia voluntaria de hidrocarburos en una economía dependiente de esta materia prima. Renunciar a una fuente de ingreso con alta demanda y presencia dentro de la economía y que además deja grandes percepciones monetarias, se vuelve un tema controversial y a la vez contradictorio el abandonar esta fuente de ingreso en un país en vías de desarrollo, tal es el caso de México. Teniendo en cuenta estos aspectos, se deben considerar las externalidades y restar esta cantidad no contable a la utilidad neta ya que el deducir los costos de operación, costos de inversión, impuestos y demás es de vital importancia hoy en día centrar atención a los daños irreversibles que puedan existir hablando en términos de la humanidad.

Implicaciones en el acervo de combustibles

5.1 Resultados por escenario

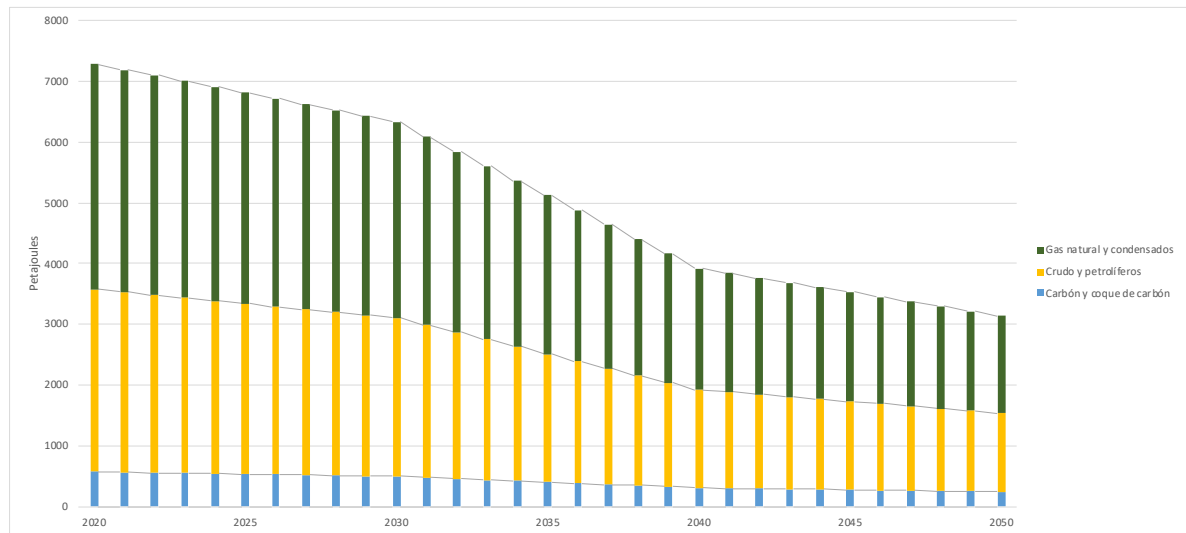
De los cálculos realizados en el capítulo anterior llegué a la conclusión de que las reservas son de 1,997.6 millones de toneladas de dióxido de carbono para el escenario compromiso y de 2,338.8 millones de toneladas de dióxido de carbono para el escenario más ambicioso entre gas natural y condensados, aceite crudo y petrolíferos, carbón y coque de carbón. Dependiendo del escenario de producción

que se haya elegido (se recordará que en el escenario más ambicioso se propone aumentar un 30% la extracción de gas natural con respecto a la del aceite crudo).

Las siguientes cifras que se mostrarán a continuación se obtienen a partir del *gráfico 4.9* (para el escenario compromiso) y *gráfico 4.11* (para el escenario más ambicioso). Estos gráficos nos muestran las emisiones máximas de CO₂e la cual cada uno de los combustibles fósiles no deberán de rebasar.

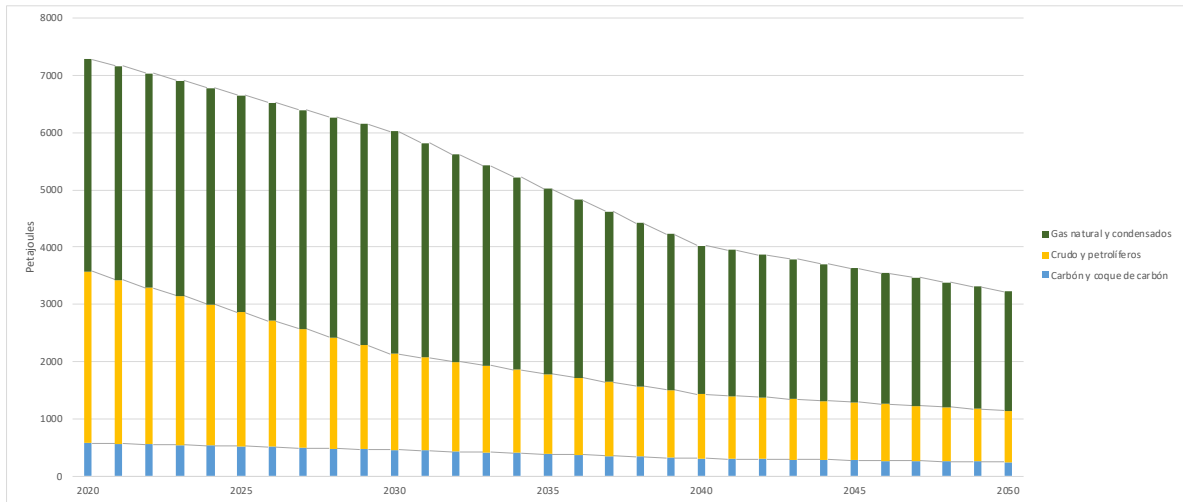
Una vez obtenido el valor el cual no deberán de rebasar cada uno de los combustibles fósiles se procede a hacer el proceso inverso, convirtiendo a partir de dióxido de carbono equivalente al volumen de cada combustible a dejar en subsuelo.

Gráfico 5.1. Escenario compromiso. Objetivos de producción de carbón, petróleo y gas natural en México en petajoules (2020 – 2050).



Fuente: Edición propia.

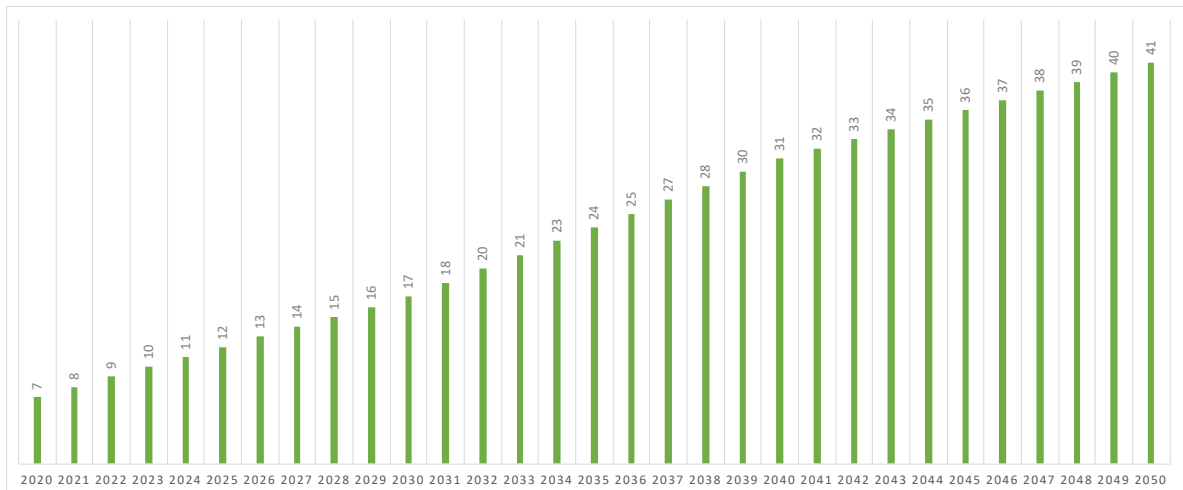
Gráfico 5.2. Escenario más ambicioso. Objetivos de producción de carbón, petróleo y gas natural en México en petajoules (2020 – 2050).



Fuente: Edición propia.

Para el escenario compromiso las reservas de carbón y coque de carbón a dejar en el subsuelo en el año 2050 son cercanas a los 41 millones de toneladas (ver gráfico 5.3).

Gráfico 5.3. Escenario compromiso y escenario más ambicioso*. Carbón y coque de carbón a dejar en el subsuelo en millones de toneladas. (2020 – 2050).

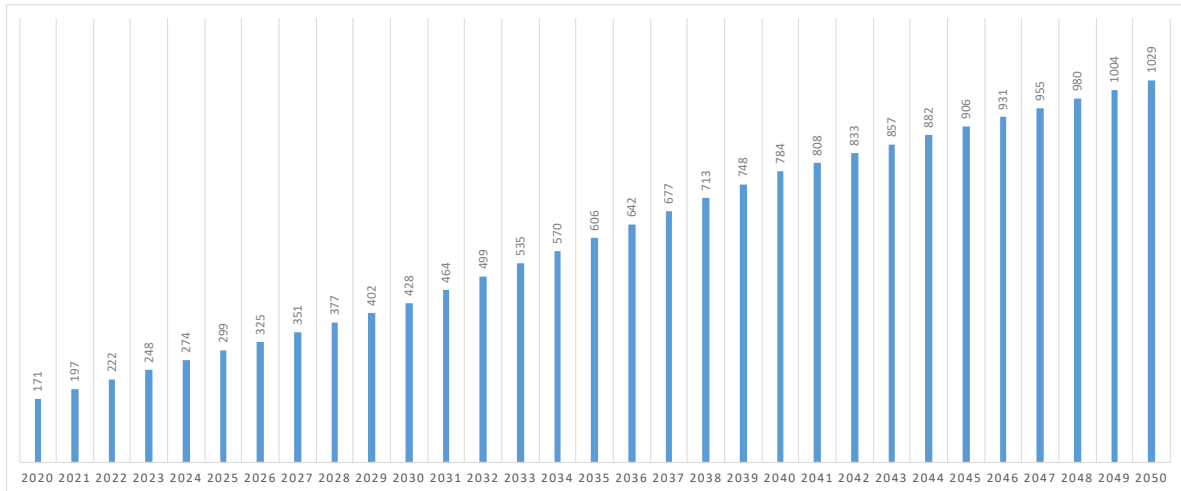


Fuente: Edición propia.

*En el caso del carbón y coque de carbón se considera la misma distribución tanto para el escenario compromiso como para el escenario más ambicioso.

En el caso del aceite crudo y petrolíferos se muestra que en el escenario compromiso se dejarán cerca de 1029 millones de barriles en el año de 2050 (ver gráfico 5.4) esto representa dejar el 15.9% de las reservas 1P medidas en el año 2018 (6,464 millones de barriles).

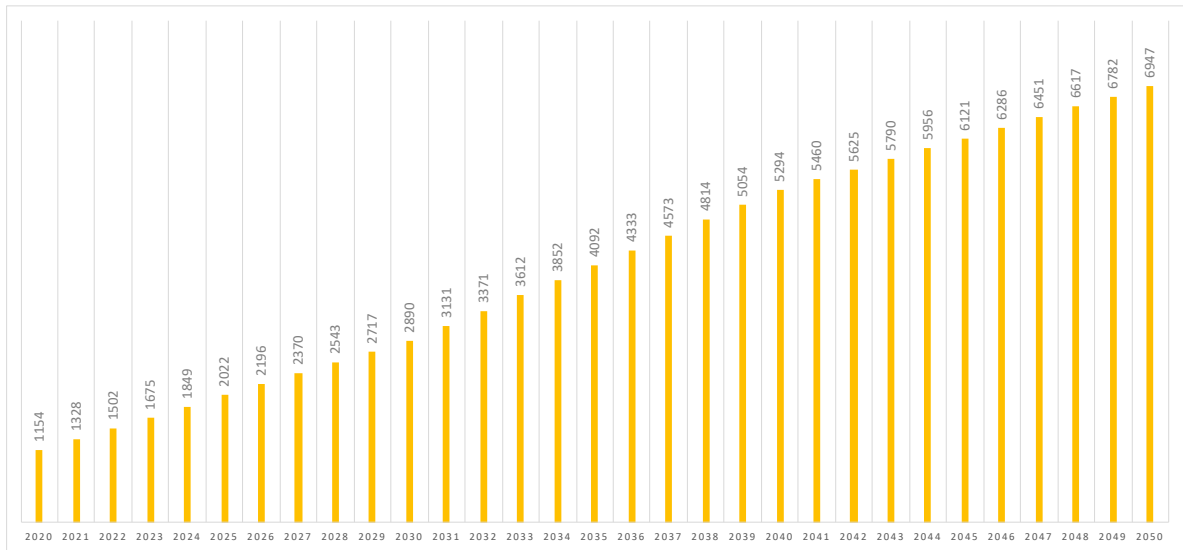
Gráfico 5.4. Escenario compromiso. Aceite crudo y petrolíferos a dejar en el subsuelo en millones de barriles. (2020 – 2050).



Fuente: Edición propia.

Para el gas natural y condensados el escenario compromiso implica dejar en sitio 6,947 miles de millones de pies cúbicos de gas (ver gráfico 5.5) lo cual representa dejar de producir el 69.3% de las reservas 1P medidas en el año 2018 (10,022 miles de millones de pies cúbicos de gas natural y condensados).

Gráfico 5.5. Escenario compromiso. Gas natural y condensados a dejar en el subsuelo en miles de millones de pies cúbicos. (2020 – 2050).

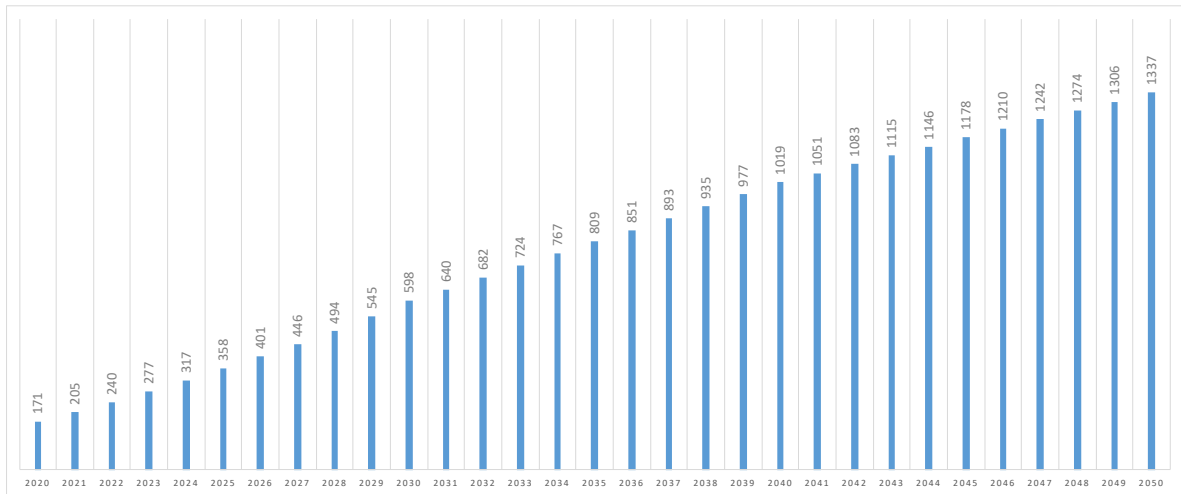


Fuente: Edición propia.

En el escenario más ambicioso el cual para efectos de tesis resulta ser el idóneo, queda para el carbón y coque de carbón exactamente igual a la del escenario compromiso (*ver gráfico 5.3*) debido a que las restricciones propuestas entre ambos escenarios no afectan ni benefician al carbón.

Para el aceite crudo y condensados queda un total cercano a los 1,337 millones de barriles para el año 2050 (*ver gráfico 5.6*) lo cual representa el 20.7% de las reservas 1P medidas en el año 2018 (6,464 millones de barriles).

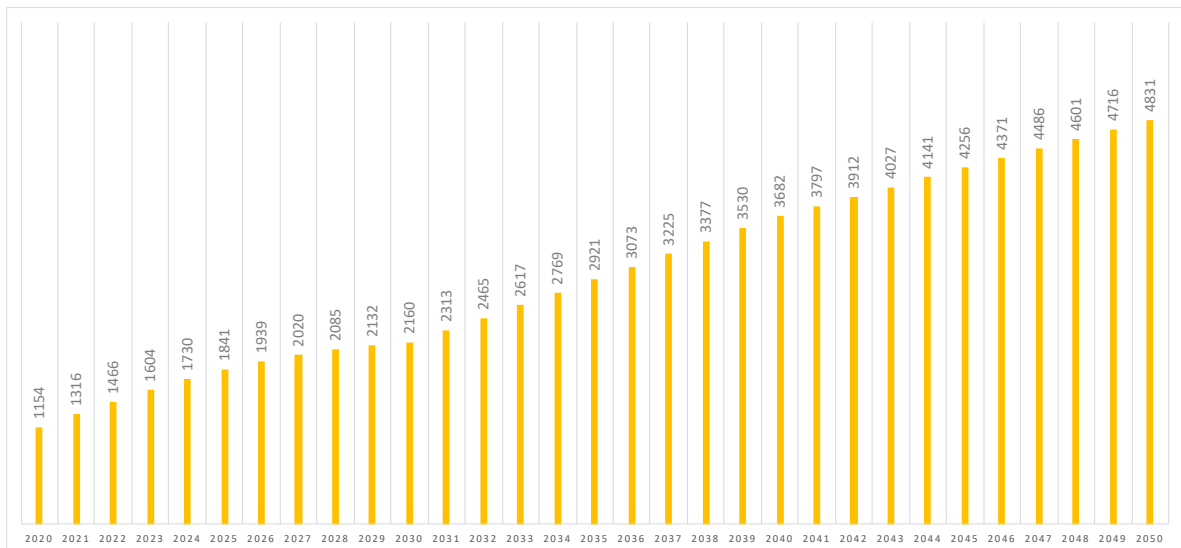
Gráfico 5.6. Escenario más ambicioso. Aceite crudo y petrolíferos a dejar en el subsuelo en millones de barriles. (2020 – 2050).



Fuente: Edición propia.

En el escenario más ambicioso para el caso del gas natural y condensados se pretenden dejar en sitio 4,831 miles de millones de pies cúbicos de gas (ver gráfico 5.7) lo cual representa dejar de producir el 48.2% de las reservas 1P medidas en el año 2018 (10,022 miles de millones de pies cúbicos de gas natural y condensados).

Gráfico 5.7. Escenario más ambicioso. Gas natural y condensados a dejar en el subsuelo en miles de millones de pies cúbicos. (2020 – 2050).



Fuente: Edición propia.

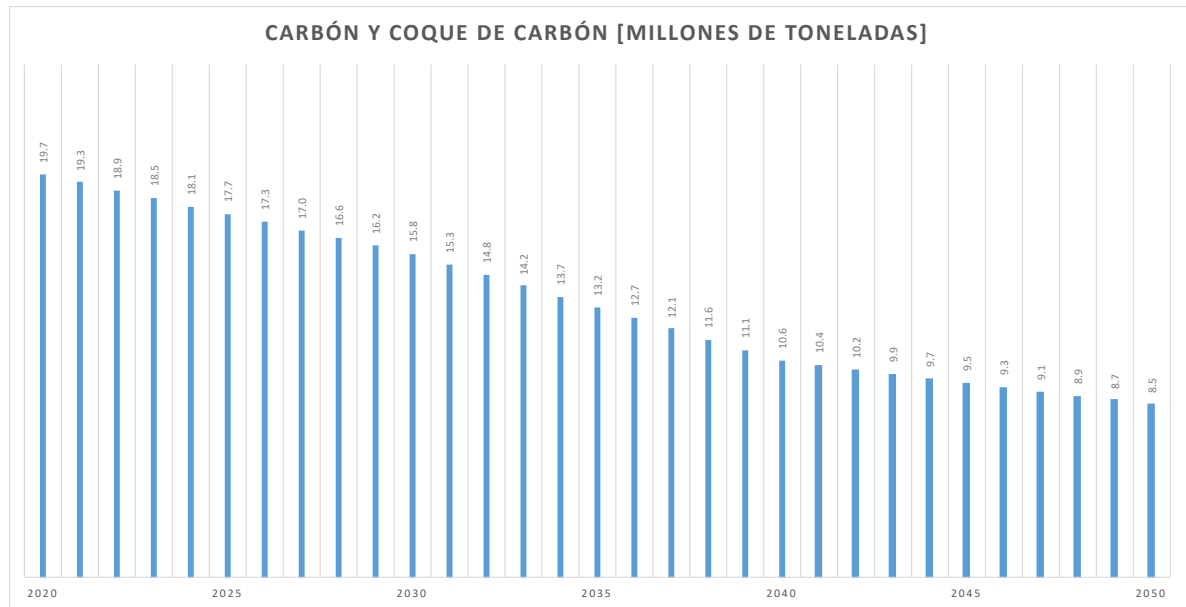
5.2 Resultados por combustible

Carbón y coque de carbón

En el caso del carbón y coque de carbón, no existe variación alguna entre el escenario compromiso y el escenario más ambicioso, debido a que el aumento únicamente existe entre el aceite crudo y el gas natural, excluyendo totalmente al carbón.

A pesar de que existe una producción “pequeña” (*ver gráfico 5.7*) en comparación con los demás hidrocarburos, es de suma importancia la reducción de este ya que como se vio con anterioridad, es el hidrocarburo más contaminante y precisamente por tener el factor de emisiones contaminantes más elevado es al que se le debe prestar mayor atención. Por lo que de los 19.65 millones de toneladas que se producen en el año 2020 se propone una reducción hasta los 8.47 millones de toneladas de carbón para el año 2050.

Gráfico 5.8. Objetivos de producción de carbón y coque de carbón en millones de toneladas anuales en México (2020 – 2050).

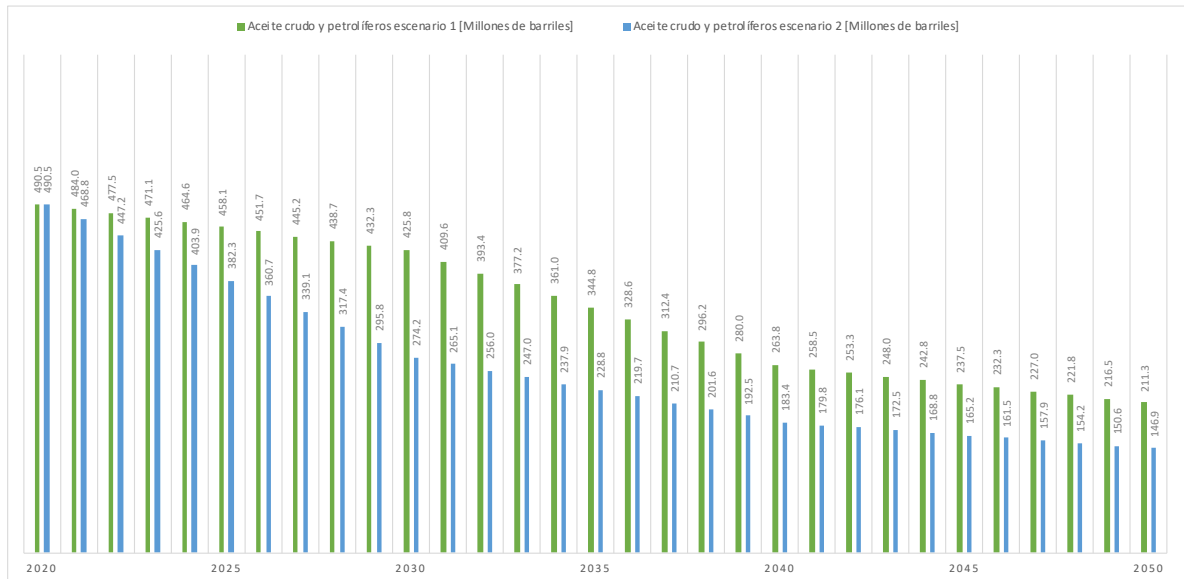


Fuente: Edición propia.

Aceite crudo y petrolíferos

En esta sección se tendrán los dos escenarios (escenario compromiso y escenario más ambicioso) en el cual se puede apreciar de mejor manera como será la diferencia en producción en millones de barriles si se escoge entre una u otra opción (ver gráfico 5.9), cabe resaltar aquí que aunque la reducción mayor para el año 2050 sea aproximadamente del 25%, este hidrocarburo puede representar grandes riesgos económicamente hablando debido a los precios de la mezcla mexicana en el mercado del petróleo y por el otro lado de la ecuación a una mayor reducción de este hidrocarburo mayor será la disminución de emisiones contaminantes a la atmosfera ya que se puede considerar al aceite crudo como medianamente contaminante por lo que cualquier disminución de esta materia prima puede resultar con beneficios hacia la ecología del país.

Gráfico 5.9. Objetivos de producción de aceite crudo y petrolíferos en millones de barriles anuales en México (2020 – 2050).



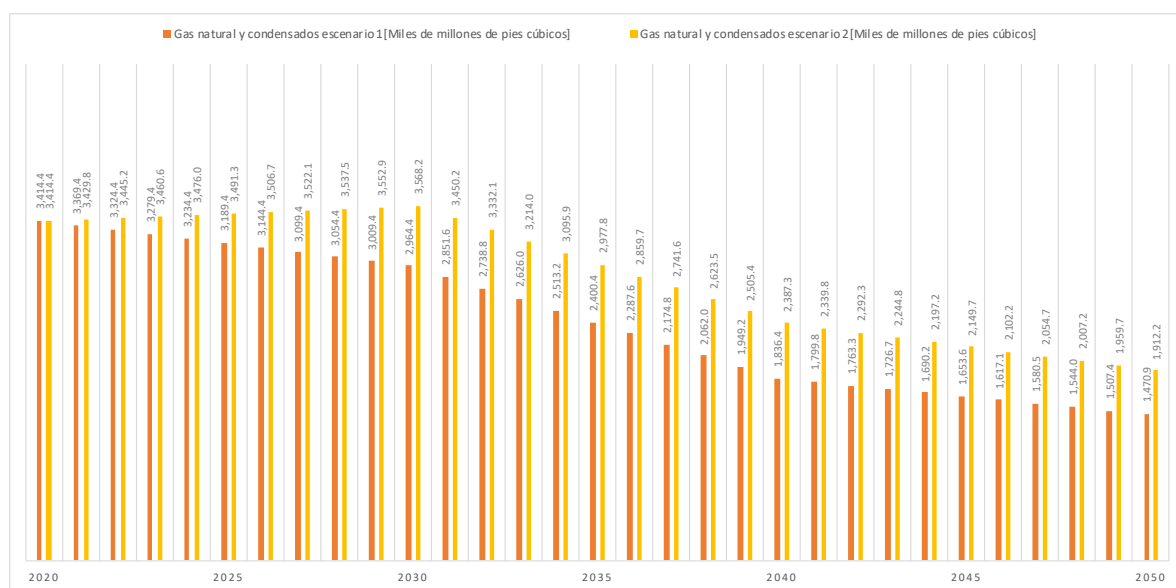
Fuente: Edición propia.

Gas natural y condensados

Para el caso del gas natural y condensados se puede visualizar en la *gráfica 5.10* que por ser el hidrocarburo con menor coeficiente de emisiones contaminantes, es el que mayor volumen se puede explotar y el que mayor potencial energético tiene (*ver gráfica 5.7*) por lo que con esta gráfica se sigue afirmando lo antes propuesto y dicho, si se debe apostar por algún hidrocarburo como método de generación energética este debe de ser sin duda alguna el gas natural y condensados.

Respecto a entre que escenario elegir, es más que evidente que si lo que se desea es reducir las emisiones y seguir obteniendo una generación energética elevada y sobre todo que sea altamente eficiente, se debe de elegir el escenario más ambicioso.

Gráfico 5.10. Objetivos de producción de gas natural y condensados en miles de millones de pies cúbicos anuales en México (2020 – 2050).



Fuente: Edición propia.

5.3 Implicaciones técnicas

Las implicaciones técnicas son en primera instancia el abandono y cierre de diversos campos y yacimientos, como regla general se establece que se abandonen los campos que requieran una mayor inversión de CAPEX y OPEX, tales como

aguas profundas, campos maduros, yacimientos no convencionales, los cuales se este produciendo actualmente con métodos de recuperación secundaria y mejorada a fin de que lo que se tenga que producir de aceite crudo y gas natural sean de campos de “fácil obtención” por así llamarlos o simplemente campos considerados activos productores y de una certidumbre muy alta, los cuales tengan bien definido su volumen de aceite y tengan un factor de recuperación alto.

Con forme al reporte anual correspondiente al año 2019 “Form 20-F” PEMEX muestra los costos más caros de producción por barril en sus principales complejos (*ver tabla 5.1*). Por lo que, si lo que se busca es reducir la producción de hidrocarburos, lo ideal sería dejar de producir en el complejo “Akal” buscando reducir las emisiones, empezando con el petróleo de alto costo. Y apostar a los campos con menos costo de producción tal es el caso de Ku - Maloob - Zaap.

Tabla 5.1. Costos de producción por barril en dólares para PEMEX por complejo.

	Ku - Maloob - Zaap	Akal	Otros complejos	Todos los complejos
2019				
Aceite crudo por barril	53.34 *	\$59.68	\$61.73	\$57.13
Gas natural	\$3.63	\$1.57	\$3.54	\$3.55
Costo promedio de producción por barril de petróleo o equivalente	\$10.37	\$17.27	\$16.32	\$14.06
2018				
Aceite crudo por barril	\$58.71	\$61.41	\$66.34	\$66.13
Gas natural	\$4.37	\$1.62	\$4.21	\$4.21
Costo promedio de producción por barril de petróleo o equivalente	\$10.03	\$38.94	\$14.78	\$13.73
2017				
Aceite crudo por barril	\$41.70	\$48.75	\$52.90	\$48.71
Gas natural	\$5.07	\$4.25	\$4.12	\$4.32
Costo promedio de producción por barril de petróleo o equivalente	\$7.53	\$23.25	\$11.53	\$10.90

Fuente: Pemex Exploración y Producción

* Precios en dólares.

Dicho esto, este trabajo de investigación propone el comienzo de la elaboración de un plan de producción petrolera con lo que se promueve a la realización de los análisis consecuentes sobre que complejos se deben abandonar y cuales merecen inversión, así como los análisis financieros y económicos para el futuro de la producción petrolera en México, con la finalidad de cumplir el Acuerdo de París.

Implicaciones económicas

El renunciar a un bien material que genera ingresos importantes a la economía, no siempre resulta favorable en un inicio. Es una decisión que, si bien no representa pérdidas para el país que decide hacerlo, si representa una disminución en los ingresos, los cuales van a tener que ser reemplazados por otras fuentes de ingresos y/o la creación de una reforma fiscal.

Es de vital importancia tener un plan para la mitigación de este déficit en la producción, algo así como una línea de acción con la finalidad de que cuando exista este recorte no represente un riesgo para la seguridad energética, ni para la seguridad financiera del país.

Un país que centra su principal fuente de ingresos en un bien que a nivel del mercado es sumamente volátil, como se ha visto, tiene que afrontar la realidad de que su economía se verá afectada cada vez que este hidrocarburo aumenta o disminuya su valor, por tal motivo se debe ir dejando gradualmente el ser dependiente de esta materia prima y aprovechar los términos del Acuerdo de París para así descentralizar la economía de México en el aceite crudo y a su vez reducir la generación de gases contaminantes.



Fuente: Banxico

Estas caídas en el precio de la mezcla mexicana de petróleo son bastante marcadas y las razones son totalmente explicables:

En el 2008, los precios bajos del petróleo corresponden a la crisis mundial producida en Estados Unidos, pero se detona la caída de los precios del petróleo debido al gran excedente de petróleo que existía (ley de la oferta y la demanda) esto origino que los precios del barril cayeran hasta los \$30.27 dólares por barril de mezcla mexicana.

Para 2016, existe otra caída en los precios mundiales del petróleo, y esto se debe a la desaceleración en la economía del mundo, aunada a la creciente recuperación económica de los EE. UU. Aunado a esto existe un crecimiento de fuentes generadoras de energía, en específico, el *shale gas*, gas proveniente de lutitas el cual es producido mediante el *fracking* (fracturamiento hidráulico). La segunda razón de la caída en los precios de esta materia prima es el incremento de la producción de aceite crudo en los países exportadores de petróleo (OPEP) lo que genero una alta oferta con 96.88 millones de barriles diarios contra una demanda de 92.92 millones de barriles diarios.

Y en 2020, un brote de un nuevo virus proveniente de China y su rápida propagación crean una alteración de la economía mundial paralizando a gran parte de la población mundial creando una reducción en la demanda de petróleo en el mundo. Arabia Saudita y los demás miembros de la OPEP establecen recortes adicionales para reducir la oferta de hidrocarburos, pero Rusia rechaza esta reducción por lo que la OPEP elimina los límites de la producción llevando por primera vez el precio del hidrocarburo hasta números negativos el precio del barril de petróleo crudo.

Con base a la información anterior, se puede concluir que el precio del barril del petróleo esta sujeta a la demanda de este energético a nivel mundial y que cualquier alteración de este resulta en un aumento o disminución de su valor. Por otra parte como ha pasado a través de la historia, estamos atravesando un momento de bajos

precios de petróleo y como ha sucedido anteriormente se espera que el valor de este vaya en aumento en los próximos años.

Conclusiones

El cambio climático no solo representa nuevos desafíos, también representa restricciones en el crecimiento y conflictividad social, así como, la necesidad de servicios públicos de calidad.

Es verdad que el volumen de combustibles fósiles que quedarán en subsuelo es considerable y que esta decisión tendría repercusiones monetarias en México por lo que una solución factible podría ser seguir los planes de Noruega los cuales constan en poner a exportación el excedente de combustibles fósiles que representen un aumento en emisiones de GEI. De esta forma se busca que los ingresos continúen y que las emisiones de GEI en México se reduzcan hasta cifras acorde al Acuerdo de París.

Como consecuencia de los compromisos que México asumió en el Acuerdo de París se hace acreedor de responsabilidades institucionales y demandas a los sistemas de gobierno climático que la cooperación regional podría contribuir a atender.

Conclusiones

México aún cuenta con grandes reservas de hidrocarburos, las cuales puestas en superficie resultan amenazadoras contra el medio ambiente por el aumento en los GEI. La explotación de hidrocarburos conlleva al aumento de la temperatura terrestre y eventualmente al incumplimiento del Acuerdo de París.

Por lo que, México para cumplir con dicho acuerdo, necesitará dejar de producir 1,029 millones de barriles de aceite crudo equivalente en el año 2050 en caso de que se siga la tendencia de producción del escenario compromiso y un total de 1,337 millones de barriles de aceite crudo equivalente para el año 2050, en el escenario más ambicioso.

En este trabajo de tesis se propusieron dos escenarios de producción de combustibles fósiles. El primero retoma lo que México planteo en su reporte: “Estrategia de Cambio Climático” (INECC, 2014). El segundo escenario propone uno más ambicioso, mostrando que existen mayores beneficios tanto en temas de ecología y medio ambiente como en diversificar nuestra generación energética y fuentes de energía del aceite crudo, dando una mayor participación al gas natural debido a sus cualidades de ser menos contaminante y más eficiente.

La realidad es evidente y clara, se deben disminuir las emisiones de GEI y sobre todo no rebasar el límite de los 2 grados centígrados, se debe obtener energía de fuentes renovables, se deben descentralizar los monopolios de fuentes energéticas y diversificar estas mismas.

Aunque el Acuerdo de París ya estipula sanciones se deben de establecer cuotas de incumplimiento tanto para la contabilidad de aumento en emisiones de GEI y multas para actividades las cuales sean altamente amenazantes para la biodiversidad de cada región.

Se debe seguir dando seguimiento y control a todos los países pertenecientes a estos tratados y acuerdos e impulsando a los países que aún no se han anexado,

debido a que todos y cada uno de nosotros contribuimos en el aumento de temperatura global y al cambio climático, siguiendo como se ha venido haciendo anualmente una conferencia la cual exponga los resultados y propuestas de cada país, y que a su vez exista un organismo regulador el cual sea el responsable en otorgar financiamientos y multas, con la finalidad de garantizar el cumplimiento de lo que se ha propuesto con anterioridad.

Existen diversas cuestiones tanto políticas como sociales, ambientales y económicas que impiden la transición de combustibles fósiles a fuentes de energía renovables y aunque teóricamente es más conveniente producir energía de fuentes de energía limpias, desde el punto de vista económico, la renta petrolera aporta el 2.37% del total del PIB (Banco Mundial, 2011) y no es fácil sustituir este valor de ingresos a la economía de un país.

En conclusión, se deben diversificar las fuentes de energía, por lo que si se tiene gran potencial de radiación solar en el norte del país, se debería optar por energía solar; al sureste donde existen grandes corrientes de viento se podría optar como principal fuente energética la energía eólica, y a si sucesivamente en cada región del territorio nacional.

La seguridad energética del país debe ser primordial en la cual se garantice el suministro de energía a todos los habitantes de la nación.

Recomendaciones

Se deben realizar estudios sobre aspectos sociales y sobre todo en el área de la movilidad debido a que este sector es uno de los principales en la utilización de aceite crudo ya que en la actualidad, más del 95% de automóviles funciona con gasolina o diésel, entonces al haber un cambio de fuente energética se debe modernizar o buscar sustitutos como los autos eléctricos, con la desventaja que al ser una tecnología relativamente moderna el precio de estos es un tanto elevado, por lo que se buscará crear un sistema de estímulos fiscales con los que obtener un automóvil eléctrico sea mejor opción a uno impulsado por combustibles fósiles. Caso parecido es el de las celdas fotovoltaicas las cuales se buscará implementar en zonas de difícil acceso de torres eléctricas y crear sistemas de generación eléctrica distribuida con la intención de abastecer de energía eléctrica a la población marginal en pro de la ciudadanía y en pro de México.

Por otro lado, el dejar de producir una materia prima, como lo es el aceite crudo y condensados, no es una tarea fácil ni se debe de tomar a la ligera, debe existir un análisis tanto económico, como de mitigación, así como de fuentes de energía sustitutos por cuestiones de seguridad energética.

En este trabajo, se abren nuevas interrogantes acerca de la viabilidad de la transición energética a las fuentes renovables o inclusive al cambiar la principal fuente energética fósil. Y se espera que este trabajo sirva como parteaguas para nuevas líneas de investigación sobre la auto sustentabilidad energética del país.

Referencias

- 1 Gen Less. (2019, enero). *CO2 EMISSION CALCULATOR*. Gen Less New Zealand Gov. <https://tools.genless.govt.nz/businesses/wood-energy-calculators/co2-emission-calculator/>
- 2 Elizabeth Albarrán 18 de junio de 2017, 20:57. (2017, 4 octubre). *Ingresos petroleros sólo aportaron el 15% del total en primer cuatrimestre*. El Economista. <https://www.eleconomista.com.mx/economia/Ingresos-petroleros-solo-aportaron-el-15-del-total-en-primer-cuatrimestre-20170618-0066.html>
- 3 Periódico de la energía. (2015). *Nuevo record de Siemens en rendimiento y eficiencia en el ciclo combinado de Dasselndorf*. <https://elperiodicodelaenergia.com/nuevo-record-de-siemens-en-rendimiento-y-eficiencia-en-el-ciclo-combinado-de-dusseldorf/>
- 4 Portal CNIH. (2017). <http://hidrocarburos.gob.mx/>. <https://hidrocarburos.gob.mx/#>
- 5 Student Energy. (2018, abril). *Oil*. Student Energy. <https://studentenergy.org/influencer/climate-change/>
- 6 Villalba Hervás, I. E. S. (2015, marzo). *Combustibles fósiles* (N.º 2). https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2012/10/tema2_com-bustibles-fosiles.pdf
- 7 Student Energy. (2017, febrero). *Oil*. Student Energy. <https://studentenergy.org/influencer/climate-change/>
- 8 Student Energy. (2018, septiembre). *Natural Gas*. Student Energy. <https://studentenergy.org/influencer/climate-change/>
- 9 Medina*, M. M. (2014, 6 enero). *Características de un crudo pesado y uno ligero*. Milenio. <https://www.milenio.com/negocios/caracteristicas-de-un-crudo-pesado-y-uno-ligero>
- 10 IPCC. (2006, enero). *Publications - IPCC-TFI*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- 11 EPA. (2020, 27 mayo). *Greenhouse Gases Equivalencies Calculator - Calculations and References*. US EPA. <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>
- 12 Gen Less. (2019, enero). *CO2 EMISSION CALCULATOR*. Gen Less New Zealand Gov. <https://tools.genless.govt.nz/businesses/wood-energy-calculators/co2-emission-calculator/>
- 13 *Overview of Greenhouse Gases*. (2019, 8 septiembre). US EPA. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- 14 IPCC, John N. Carras, & David Picard. (2006, enero). *FUGITIVE EMISSIONS* (Chapter 4). IPCC.
- 15 *Global Warming*. (2016, junio). Global Warming. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/globalwarming/page3.php>
- 16 CMB.Contact@noaa.gov. (2018, noviembre). *Global Climate Change Indicators | Monitoring References | National Centers for Environmental Information (NCEI)*. Global Climate Change Indicators | Monitoring

- References. <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php>
- 17 Temperature data. (2018, diciembre). *Temperature data (hadcrut4, CRUTEM4) Climatic Research Unit global temperature*. CRU. <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>
 - 18 NASA. (2019, 14 agosto). *GISS Surface Temperature Analysis*. <http://data.giss.nasa.gov/gistemp>
 - 19 NASA. (2016, enero). *NOAA Data Show 2016 Warmest Year on Record Globally*. <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118/>
 - 20 Buis, A. (2018, 13 junio). *Ramp-Up in Antarctic Ice Loss Speeds Sea Level Rise*. NASA/JPL. <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?Feature=7159>
 - 21 *Measures Northern Hemisphere Terrestrial Snow Cover Extent Daily 25km EASE-Grid 2.0, Version 1 | National Snow and Ice Data Center*. (2015, enero). Measures. <https://nsidc.org/data/nsidc-0530/versions/1>
 - 22 *SOTC: Northern Hemisphere Snow | National Snow and Ice Data Center*. (2017, enero). SOTC. https://nsidc.org/cryosphere/sotc/snow_extent.html
 - 23 *SOTC: Sea Ice | National Snow and Ice Data Center*. (2017, enero). SOTC. https://nsidc.org/cryosphere/sotc/sea_ice.html
 - 24 *What is Ocean Acidification?* (2018, enero). PMEL. <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/What+is+Ocean+Acidification%3F>
 - 25 *The Copenhagen Diagnosis*. (2015). DIAGNOSTICO COPENHAGEN. <http://www.copenhagendiagnosis.org>
 - 26 NASA. (2018, 3 enero). *Los efectos del cambio climático –. Climate Change: Vital Signs of the Planet*. <https://climate.nasa.gov/efectos/>
 - 27 J. (2019, 9 diciembre). *Las Conferencias sobre el Cambio Climático (COP), una dilatada historia de aplazamientos*. Conciencia Eco. <https://www.concienciaeco.com/2018/12/05/conferencias-sobre-el-cambio-climatico-cop/>
 - 28 *Gobernanza de la Convención Antidopaje*. (2020, 24 junio). UNESCO. <https://es.unesco.org/themes/deporte-y-antidopaje/convencion/gobernanza>
 - 29 ECOLOGÍA HOY. (2017, enero). *Conferencia de Estocolmo*. <https://www.ecologiahoy.com/conferencia-de-estocolmo>
 - 30 Naturales, R. A. M. D. S. Y. (2018). *Protocolo de Kioto sobre cambio climático*. Gob.mx. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico?Idiom=es>
 - 31 Borràs, C. (2020, 11 febrero). *Protocolo de Kioto: qué es y en qué consiste*. Ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/protocolo-de-kioto-que-es-y-en-que-consiste-413.html>
 - 32 *Kyoto 2nd commitment period (2013–20)*. (2017, 16 febrero). Acción por el Clima - European Commission. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_2_es
 - 33 *2020 climate & energy package*. (2017, 16 febrero). Climate Action - European Commission. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en
 - 34 UNFCCC. (2018, 22 octubre). *¿Qué es el Acuerdo de París?* UNFCCC.INT. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>

- 35 *Acuerdo de París sobre el Cambio Climático*. (2020, 5 marzo). European Council. <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/climate-change/paris-agreement/>
- 36 Secretaría de Energía. (2010, noviembre). *LISTA de combustibles que se considerarán para identificar a los usuarios con un patrón de alto consumo, así como sus factores para determinar las equivalencias en términos de barriles equivalentes de petróleo*. DOF.
- 37 United states securities and exchange commission. (2019, enero). *Annual report pursuant to section 13 or 15(d) of the securities exchange act of 1934* (n.º 0-99). Dof.
- 38 Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. (2006, enero). *COMBUSTIÓN ESTACIONARIA* (N.º 2). IPCC.
- 39 James Leaton, J. L. (2015). *The \$2 trillion stranded assets danger zone: How fossil fuel firms risk destroying investor returns*. Carbon Tracker.
- 40 INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*. SEMARNAT.
- 41 Ministry of Environment and Natural Resources. (2016, noviembre). *Mexico's Climate Change Mid-Century Strategy*. National Institute of Ecology and Climate Change.
- 42 Ministry for the Environment and Natural Resources. (2016). *Designing an Emissions Trading System in Mexico: Options for Setting an Emissions Cap*. GIZ.
- 43 Carbon Tracker. (2019, septiembre). *Why none of the large oil companies are "Paris-aligned", and what they need to do to get there*.
- 44 Carbon Tracker. (2019a, marzo). *BROWN IS THE NEW GREEN. Annual Review 2019*. (2020, 29 julio). Carbon Tracker Initiative. <https://carbontracker.org/reports/annual-review-2019/>
- 46 PNUMA. (2019). *El Acuerdo de París y sus Implicaciones para América Latina y el Caribe*. Unión Europea.
- 47 PNUMA. (2012). *GEO5 - Perspectivas del Medio Ambiente* (DEW/1421/NA). Novo Art.
- 48 *La caída del precio del petróleo pone en riesgo la economía global – Horizontal*. (2018). Horizontal. <https://horizontal.mx/la-caida-del-precio-del-petroleo-pone-en-riesgo-la-economia-global/>
- 49 Mentado, P. (2020, 12 marzo). *Historia de las caídas de los precios del petróleo y la OPEP*. Energía Hoy. <https://energiaohoy.com/2020/03/12/historia-de-las-caidas-de-los-precios-del-petroleo-y-la-opep/>
- 50 Banxico. (2019). *Precios Spot del petróleo*. <https://www.banxico.org.mx/apps/gc/precios-spot-del-petroleo-gra.html>
- 51 Ledslac, L. (2019, 30 octubre). *Implicaciones del Acuerdo de París sobre activos abandonados en América Latina y el Caribe: el caso de las centrales a gas y las reservas petroleras*. Ledslac. <http://ledslac.org/es/2019/10/implicaciones-del-acuerdo-de-paris-sobre->

activos-abandonados-en-america-latina-y-el-caribe-el-caso-de-las-
centrales-a-gas-y-las-reservas-petroleras/

Índice de Gráficos

Gráfico 1.1. Producción de carbón en México (2008 - 2018).	27
Gráfico 1.2: Reservas petroleras en México (2008 a 2018).	29
Gráfico 1.3: Producción de petróleo crudo en México (2008 – 2018).	30
Gráfico 1.4: Reservas de gas natural en México (2008 – 2018).	33
Gráfico 1.5: Producción de gas natural en México (2008 – 2018).....	34
Gráfico 1.6: Producción anual calculada de CO ₂ (2008 – 2018).	38
Gráfico 1.7: Reservas de hidrocarburos expresadas en toneladas de CO ₂ almacenadas en el subsuelo en 2018 considerando reservas 1P, 2P y 3P.	39
Gráfico 1.8: Generación de CO ₂ debido a la producción de combustibles fósiles de (2008 – 2017).	40
Gráfico 4.1 Emisiones de dióxido de carbono por consumo de energía en México (2000- 2017).....	70
Gráfico 4.2. Histórico de producción energética proveniente de combustibles fósiles (2000 – 2016).	72
Gráfico 4.3. Estructura de la producción de energía fósil entre 2000 y 2016.....	72
Gráfico 4.4. Relación del promedio anual ponderado de cada combustible fósil respecto al periodo comprendido entre el año: 2000 a 2016.	73
Gráfico 4.5. Reservas en PJ de combustibles fósiles en México (2000 – 2017).....	76
Gráfico 4.6. Reservas en Millones de Toneladas de CO ₂ de los principales combustibles fósiles en México (2000 – 2017).	76
Gráfico 4.7. Emisiones de dióxido de carbono en México Miles de millones de toneladas de CO ₂	77
Gráfico 4.8. Escenarios de mitigación de gases de efecto invernadero en México.	79
Gráfico 4.9. Escenario compromiso: Emisiones de dióxido de carbono objetivo en México por combustible fósil (2000 – 2050).	81
Gráfico 4.10. Escenario compromiso: Volumen de combustibles fósiles a quedarse en el subsuelo en México (2000 – 2050).	82
Gráfico 4.11. Escenario más ambicioso: Emisiones de dióxido de carbono objetivo en México considerando 30% más producción de gas que aceite crudo (2000 – 2050).83	83
Gráfico 4.12. Escenario más ambicioso: Volumen de combustibles fósiles a quedarse en el subsuelo en México (2000 – 2050).	84

Gráfico 4.13. Estimación económica del carbón y coque de carbón a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.....	86
Gráfico 4.14. Escenario compromiso. Estimación económica del aceite crudo a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.....	87
Gráfico 4.15. Escenario más ambicioso. Estimación económica del aceite crudo a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.....	87
Gráfico 4.16. Escenario compromiso. Estimación económica del gas natural a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.....	88
Gráfico 4.17. Escenario más ambicioso. Estimación económica del gas natural a dejar en subsuelo/exportación de 2020 a 2050.....	88
Gráfico 4.18. Escenario compromiso: CAPEX no necesario en México (2000 – 2050). ...	90
Gráfico 4.19. Escenario más ambicioso: CAPEX no necesario en México (2000 – 2050).	91
Gráfico 5.1. Escenario compromiso. Objetivos de producción de carbón, petróleo y gas natural en México en petajoules (2020 – 2050).....	94
Gráfico 5.2. Escenario más ambicioso. Objetivos de producción de carbón, petróleo y gas natural en México en petajoules (2020 – 2050).....	95
Gráfico 5.3. Escenario compromiso y escenario más ambicioso*. Carbón y coque de carbón a dejar en el subsuelo en millones de toneladas. (2020 – 2050).....	95
Gráfico 5.4. Escenario compromiso. Aceite crudo y petrolíferos a dejar en el subsuelo en millones de barriles. (2020 – 2050).....	96
Gráfico 5.5. Escenario compromiso. Gas natural y condensados a dejar en el subsuelo en miles de millones de pies cúbicos. (2020 – 2050).	97
Gráfico 5.6. Escenario más ambicioso. Aceite crudo y petrolíferos a dejar en el subsuelo en millones de barriles. (2020 – 2050).....	98
Gráfico 5.7. Escenario más ambicioso. Gas natural y condensados a dejar en el subsuelo en miles de millones de pies cúbicos. (2020 – 2050).	98
Gráfico 5.8. Objetivos de producción de carbón y coque de carbón en millones de toneladas anuales en México (2020 – 2050).....	99
Gráfico 5.9. Objetivos de producción de aceite crudo y petrolíferos en millones de barriles anuales en México (2020 – 2050).....	100
Gráfico 5.10. Objetivos de producción de gas natural y condensados en miles de millones de pies cúbicos anuales en México (2020 – 2050).....	101