



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**EL PETRÓLEO, CONFORMACIÓN DE LA INDUSTRIA Y  
PERSPECTIVAS**

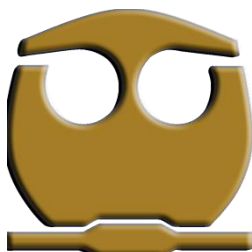
**T E S I N A**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA QUÍMICA**

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

**LAURA IRIERI TORRES ARELLANO**



**CIUDAD DE MÉXICO, 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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:**       **Profesor: Plinio Jesús Sosa Fernández**

**VOCAL:**             **Profesor: Reina García Sánchez**

**SECRETARIO:**     **Profesor: Susana Diana Peralta Miranda**

**1er. SUPLENTE:**   **Profesor: Alberto Colin Segundo**

**2° SUPLENTE:**     **Profesor: Carlos Francisco De la Mora Mondragón**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: Facultad de Química**

**Asesor del tema**

**Susana Diana Peralta Miranda**

**SUSTENTANTE**

**Laura Irieri Torres Arellano**

## CONTENIDO

1. Resumen .....	5
2. Antecedentes.....	6
3. Introducción .....	23
4. Objetivos.....	25
4.1 General .....	25
4.2 Particulares .....	25
5. Marco teórico .....	26
<b>5.1. El petróleo en el mundo</b> .....	26
<b>5.1.1. Composición y distribución del petróleo a nivel mundial</b> .....	26
<b>5.1.2. Consumo y producción de combustibles fósiles con enfoque en el petróleo</b> .....	29
<b>5.1.3. ¿Dónde y en qué se consume el petróleo?</b> .....	34
<b>5.1.4.Comercialización global de petróleo</b> .....	36
<b>5.2. Petróleo en México</b> .....	39
<b>5.2.1. Reservas petroleras en México</b> .....	40
<b>5.2.2. Yacimientos nacionales</b> .....	41
<b>5.2.3.¿Dónde está el petróleo?</b> .....	42
<b>5.2.4. Tipo de petróleo en México</b> .....	43
<b>5.3. Industria petrolera mexicana</b> .....	45
<b>5.3.1. Evolución de la industria petrolera mexicana</b> .....	47
<b>5.3.2. Importaciones y exportaciones del petróleo mexicano</b> .....	49
<b>5.3.3. Costo de la industria Nacional</b> .....	50
<b>5.4. Demanda nacional de petróleo</b> .....	52
<b>5.5. Producción nacional de petróleo</b> .....	55
<b>5.6. El futuro del petróleo en México</b> .....	57
6. Resultados.....	58
7. Conclusiones y recomendaciones .....	61
8. Bibliografía .....	64

## Índices de Ilustraciones

Gráfica 1 Consumo global del petróleo (WTRG Economics, 2019) .....	25
Gráfica 2 Distribución por región de las reservas probadas del petróleo al 2018 (BP, 2018) ....	28
Gráfica 3 Consumo de petróleo global a lo largo de los años, (Smil, 2017). .....	30
Gráfica 4 Producción de petróleo en el mundo (histórica y proyectada), millones de toneladas métricas 1980-2050. ....	34
Gráfica 5 Consumo de petróleo y otros líquidos en millones de barriles por día en el mundo...	35
Gráfica 6 Consumo de combustible por región.....	36
Gráfica 7 Participación de energéticos en las importaciones y exportaciones (WEB, 2017) .....	50
Gráfica 8 Ingresos totales de PEMEX (PEMEX, 2018) .....	51
Gráfica 9 EBITIDA (PEMEX, 2018) .....	52
Gráfica 10 Principales productores de petróleo .....	55
Gráfica 11 Producción de petróleo en México .....	56
Gráfica 12 Perspectiva de crecimiento en la demanda mundial de petróleo en millones de barriles por día (OPEC, 2019). ....	58
Gráfica 13 Evolución de producción y consumo nacional de energía (SENER, 2016) .....	59
Gráfica 14 Índice de independencia energética.....	61
Tabla 1 Fracciones destiladas de una torre de fraccionamiento a presión atmosférica con sus respectivos puntos de ebullición (Simanzhenkov & Idem, 2003). ....	16
Tabla 2 Clasificación de crudo (Speight, 2014) .....	23
Tabla 3 Tipos de petróleo comercializado en el mundo .....	26
Tabla 4 Producción de petróleo 2017 y 2018 en toneladas equivalentes de petróleo /día (OPEC, 2019) .....	32
Tabla 5 Producción de petróleo crudo por entidad federativa en 2017 (PEMEX, 2017). ....	43
Tabla 6 Tipos de crudos mexicanos (PEMEX,2015) .....	44
Figura 1 Ejemplos de hidrocarburos presentes en el petróleo.....	12
Figura 2 Mapa de distribución de reservas por cuenca (CNH,2018) .....	42

# 1. Resumen

El mundo moderno no se puede esbozar sin recurrir a la figura del petróleo. Su importancia no solo es observable en cuanto a su aporte a la economía mexicana. Según los registros del INEGI, durante 2016, el petróleo no solo representó el 6% del PIB (795 mil 471.185 millones de pesos), sino que también nos ayudó a cubrir gran parte de nuestras necesidades cotidianas, ya que el petróleo es utilizado para producir una gran variedad de productos, desde la gasolina que utilizan los automóviles, cosméticos, plásticos, cepillos de dientes e incluso la misma pasta de dientes.

El relevante papel del petróleo, oro negro o aceite de piedra como también se le conoce, se encuentra en el hecho de que “es una importante fuente de energía para la industria, combustible para el sistema de transportación y es, además, un recurso fundamental en la industria petroquímica” como lo señalan Zorrilla y Méndez (2010, p.11). A nivel mundial el petróleo es la fuente de energía dominante, abarcando poco más de un tercio de toda la energía consumida (4 418 millones de toneladas de petróleo consumidas únicamente de petróleo contra las 13 276 que consideran todas las fuentes de energía) mientras que en México el porcentaje de energía que consumimos diariamente y proviene del petróleo asciende a 44%.

Es una realidad el lugar que ocupa el petróleo como materia prima fundamental en la industria, no obstante, también es un hecho la vertiginosa velocidad con la que se han ido reduciendo las reservas mundiales resultado de su gran explotación. ¿Están por agotarse las reservas de petróleo a nivel mundial? Basados en datos: ¿Qué tan sostenible es la industria? Estas son algunas de las interrogantes que la presente tesina plantea, pretendiendo que la resolución de las mismas es fundamental cuando se trata de una sociedad que depende en gran medida del petróleo.

La tesina está dividida en distintos capítulos con la intención de poder localizar más fácilmente los diversos temas de estudio a tratar, en la primera sección se describe el origen y composición de lo que conocemos como petróleo, así como sus principales derivados y sus respectivas aplicaciones. En la segunda parte, se tratan temas que

reflejan el estado actual de la industria. Por último, se muestran las perspectivas a futuro de la industria, así como las conclusiones del estudio.

Los objetivos principales de la presente tesina es exponer cómo y de dónde se extrae el petróleo, cómo se transforma en productos intermediarios, cuáles son algunos de los productos que se obtienen, así como sus aplicaciones, la estructura de la industria petrolera actualmente y las perspectivas a futuro de la misma. Dicho esto, queda claro que el presente trabajo nos da un panorama no solo de los antecedentes y aplicaciones de lo que se conoce como “Oro Negro” sino que, además, presenta la situación actual en el contexto internacional, mientras que pretende también establecer con datos concisos una postura en cuanto a la sostenibilidad de la industria del petróleo.

## **2. Antecedentes**

El petróleo, también conocido como crudo, es una mezcla compleja compuesta principalmente por hidrocarburos en donde coexisten los estados de agregación sólido, líquido y gaseoso. Se extrae de reservas en lechos geológicos continentales o marítimos. Su aspecto físico es el de un líquido aceitoso, cuyo color varía, oscilando entre ámbar y negro. Es producto de diversos procesos químicos y geológicos que promueven la transformación física y química de la materia orgánica acumulada en sedimentos a lo largo del tiempo.

La palabra “petróleo” proviene del latín “*petroleum*” que, a su vez, se conforma de las palabras: *petra* (piedra) y *óleum* (aceite) (Real Academia Española, 2010), es decir, aceite de piedra. Es importante señalar que la palabra, lejos de referirse a una sola sustancia con una estructura química específica, se refiere a la mezcla de varios compuestos orgánicos con diferentes pesos y composiciones moleculares. Esta afirmación hace sentido al mencionar que, pese a que el petróleo está constituido, en su mayoría, por átomos de carbono e hidrógeno (95% a 99% de su composición) que forman hidrocarburos como parafinas, aromáticos, naftenos, alquenos y alquinos, también es posible encontrar, en menores cantidades, elementos como: azufre, nitrógeno y oxígeno, así como trazas de cobalto, vanadio, níquel y cromo.

El petróleo tiene, además, dos características que agregan complejidad a la determinación de su origen: su capacidad de migrar y su susceptibilidad a las alteraciones. Comúnmente el petróleo se encuentra en dos fases: gas o líquido, al estar en estos estados de agregación puede moverse libremente, este comportamiento, impide a los científicos asegurar que el lugar donde es encontrado sea el mismo en dónde se creó.

Su capacidad de sufrir alteraciones por procesos y variables naturales como lo son la temperatura, la presión, los procesos catalíticos, y la actividad microbológica, también ha complicado la determinación de su origen ya que el estado físico y la composición química del producto final pueden variar considerablemente con el tiempo lo que dificulta el ejercicio de determinar su composición y estado original.

Pese a dichas complejidades, actualmente existen dos teorías acerca del origen del petróleo: la orgánica e inorgánica. Ambas han sido ampliamente discutidas a lo largo de la historia. Sin embargo, la teoría orgánica ha predominado como la más aceptada desde inicios del siglo XX (V.B. Porfir'ev, 1974).

La teoría orgánica, también conocida como teoría biogénica, establece que, a partir de materia orgánica como algas, ceras, resinas, esporas y polen resistentes a la degradación microbológica, son depositadas en sedimentos marinos, tras ser enterrados y bajo el efecto de temperatura y presión se forma, eventualmente, el petróleo. La transformación es la siguiente: la materia orgánica acumulada y enterrada, se convierte en kerógeno por medio de procesos químicos y bacteriológicos. Estos son acompañados de la pérdida de oxígeno y nitrógeno, que, junto con la compactación de la materia y la remoción de agua, provoca que el kerógeno obtenido sufra una transformación térmica a gran profundidad, produciendo así el petróleo (Lijmbach, 1975). Esta conversión, se conoce como proceso de maduración y consiste en tres etapas: diagénesis, catagénesis y metagénesis.

La primera etapa conocida como diagénesis es la degradación bioquímica a través del cual el sedimento se consolida. Sucede en condiciones de temperatura y profundidades de entierro moderadas, a una temperatura máxima de 65°C y rara vez alcanza profundidades mayores a los 2,000 m (Tissot & Welte, 1978).



Durante esta fase, la constitución del sedimento se ve alterada por la compactación, la remoción de agua, la disminución en la concentración de oxígeno y nitrógeno y la degradación microbiológica. Esta última juega un papel fundamental en esta etapa ya que destruye los biopolímeros (proteínas y carbohidratos) presentes en la materia orgánica y con sus componentes individuales, se producen moléculas simples como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , o se forman moléculas orgánicas, largas y complejas de estructura irregular conocidas como geo polímeros, tales como: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, y la humina (Gore, 2018). Estos son los principales sobrevivientes a la degradación microbiológica (Brian Horsfield, 1994). Los tres se consideran precursores potenciales del kerógeno el cual, a su vez, es el principal precursor del petróleo. Al final de la diagénesis, la concentración de los ácidos húmicos disminuye considerablemente y casi todos los grupos carboxílicos son removidos.

Es también en esta etapa que se forman importantes cantidades de gas metano, resultado de la actividad de bacterias metanogénicas (bacterias anaerobias que descomponen la materia orgánica). Ningún otro hidrocarburo se genera durante esta fase.

Una vez terminada la diagénesis comienza la etapa considerada como la principal para la formación de petróleo: la catagénesis. Durante esta etapa la temperatura aumenta de forma considerable, llegando a alcanzar los  $150^\circ\text{C}$  y debido a que los sedimentos se han ido enterrando con el paso del tiempo a mayores profundidades, la presión también aumenta en un rango de 300 a 1500 bar. Este drástico aumento en las condiciones produce la rotura en las moléculas orgánicas del kerógeno para formar cadenas de hidrocarburos. Este fenómeno se conoce como rotura térmica.

Esta etapa se caracteriza por un aumento en la aromaticidad, la pérdida de grupos alifáticos, la generación continua de petróleo y gas, así como el agotamiento de hidrógeno (H) y nitrógeno (N).

Kozlov (1963) afirma: "Los hidrocarburos líquidos y gaseosos que constituyen el grueso del petróleo no se forman en las primeras etapas de formación de los sedimentos si no mucho después en la etapa de catagénesis donde la desintegración termocatalítica de la materia orgánica a altas temperaturas y presiones o algunos procesos de síntesis

conducen a la formación de hidrocarburos líquidos y gaseosos y sus diversos derivados”.

Finalmente, la metagénesis es la última etapa de todo este proceso. Involucra temperaturas muy elevadas (de hasta 200°C). La temperatura llega a ser tan intensa que algunos minerales en las rocas sedimentarias son alterados y recristalizados, y se forman rocas metamórficas (Gore, 2018). Bajo estas condiciones, la materia orgánica remanente y los carburos existentes se transforman en metano y posteriormente en grafito.

Algunos puntos que sostienen esta teoría son:

- Los compuestos encontrados en los sedimentos y aquellos que conforman el petróleo comparten una gran cantidad de similitudes. Estas, refuerzan el concepto de que los hidrocarburos formados tienen como precursores directos los restos de materia orgánica.
- Que el precursor sea materia orgánica explica la actividad óptica que presentan algunos compuestos del petróleo, como las porfirinas, isoprenoides y carotenos; actividad característica de los marcadores biológicos (moléculas que indican presencia presente o pasada de organismos vivos).
- La presencia frecuente de compuestos nitrogenados (característicos en los seres vivos) en el petróleo se debe a su origen orgánico.

Es importante señalar que esta teoría no niega la existencia de hidrocarburos formados en la naturaleza de manera inorgánica, como serían los que son encontrados en gases volcánicos y meteoritos, sin embargo, es clara al señalar que los grandes yacimientos de petróleo que conocemos y explotamos actualmente son de origen biogénico.

La teoría inorgánica, por otro lado, sugiere que un flujo constante de metano, proveniente de profundos depósitos de carbón del interior de la tierra, en su trayecto hacia la corteza terrestre fue polimerizado bajo condiciones de temperatura y presión altas, transformándose en hidrocarburos de mayor masa molecular (Lijmbach, 1975).

Hoy en día, la teoría inorgánica tiene menos defensores, además, existen diversas y serias investigaciones químicas y geológicas que la ponen en duda por lo que es ya considerada obsoleta. Sin embargo, es indudable su importancia histórica (Speight, 2014).

Las condiciones a las que se atribuyen el origen del petróleo también han sido discutidas. Experimentos comprueban que la formación del petróleo ocurre a bajas temperaturas que no superan los 130°C–150°C. Tampoco se necesita gran presión, se ha demostrado que 175 kg/cm<sup>2</sup> son suficientes para su formación (Meléndez, 1970). Otra condición importante es la existencia de un ambiente cerrado que impida la circulación de oxígeno, esto para que las condiciones anaeróbicas prevalezcan y sea posible la degradación de la materia orgánica. Por otra parte, la radioactividad a la que se ve expuesta la materia orgánica en el sedimento parece no tener relevancia en la formación del crudo.

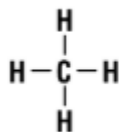
Al hablar acerca de la composición del petróleo es importante recordar que cada variedad tiene una mezcla única de hidrocarburos. Pese a esto, el contenido de carbono es relativamente constante en todas las variedades. Son, en cambio, los heteroátomos el principal factor de diferenciación en términos de la composición. Las especies moleculares presentes en el petróleo van desde hidrocarburos simples (del 50% al 97% en relación a la composición del crudo) hasta moléculas mucho más complejas presentando en su estructura átomos de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre (6%–10%), así como pequeñas cantidades (menos del 1%) de metales como vanadio, níquel, hierro y cobre (Speight, 2014). Los hidrocarburos que se encuentran en el petróleo se clasifican en 4 grupos con base en su estructura química (Posthuma, 1977):

- Alcanos normales: También conocidos como parafinas y de fórmula general  $C_nH_{2n+2}$ , son compuestos saturados de cadena lineal sin ningún compuesto cíclico. El número de átomos de carbono presentes en estas moléculas usualmente varía de 1 a 40, aunque se han llegado a identificar cadenas con hasta 78 átomos de carbono (Denekas, Carlson, Moore, & Dodd, 1951; Ludwig, 1965). Estos compuestos están presentes en la mayoría de las diferentes

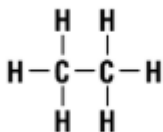
mezclas de crudo, sin embargo, su concentración disminuye conforme aumenta la masa molar de la mezcla, por eso se encuentran en pequeñas cantidades en petróleos más pesados.

- Isoalcanos: Alcanos de cadena ramificada cuya fórmula general es  $C_nH_{2n+2}$ . Los hidrocarburos isoprenoides son el grupo más importante de isoalcanos, predominan en el rango de  $C_{10}$ – $C_{20}$  siendo el Isopreno ( $C_{19}$ ) y el Fitano ( $C_{20}$ ) los más abundantes en el petróleo (Botello, 2005). En general, los isoalcanos ligeramente ramificados predominan sobre aquellos con más ramificaciones.
- Cicloalcanos: También denominados cicloparafinas o naftenos, son hidrocarburos saturados que contienen uno o más anillos, siendo los de cinco y seis carbonos los más abundantes (Speight, 2014). Derivados del ciclohexano, ciclopentano, y decahidronaftaleno e incluso naftenos policíclicos han sido identificados como componentes del petróleo. La principal diferencia en los cicloalcanos es el número de anillos: los compuestos monocíclicos y cíclicos predominan en los crudos con puntos de ebullición bajos, mientras que aquellos que ebullicen a altas temperaturas ( $150^\circ\text{C}$ - $200^\circ\text{C}$ ) contienen compuestos con hasta seis anillos. Como pueden tener una o más cadenas alifáticas laterales, también se conocen como hidrocarburos alicíclicos.

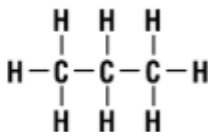
### Alcanos



Metano

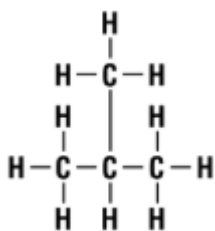


Etano

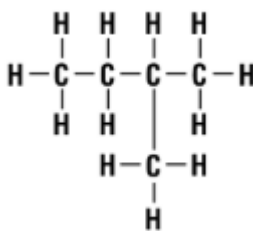


Propano

### Isoalcanos

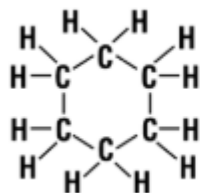


Isobutano

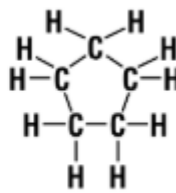


Isopropano

### Cicloalcanos



Ciclohexano

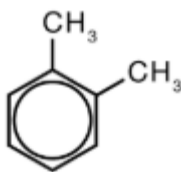


Ciclopentano

### Aromáticos



Xileno



Tolueno

• Hidrocarburos aromáticos: Estos hidrocarburos contienen al menos un anillo aromático en su estructura y son menos comunes que los hidrocarburos saturados. En términos generales, a mayor masa molar la proporción de hidrocarburos aromáticos es más significativa. Varias estructuras aromáticas pueden ser encontradas en el petróleo; los crudos ligeros son ricos en compuestos monocíclicos, aunque también se pueden encontrar compuestos bicíclicos como metilnaftaleno, etilnaftaleno y bifenilo. Estructuras tricíclicas como el fluoreno algunas veces abundan en la composición de ciertos petróleos.

Y no es raro encontrar compuestos policíclicos (con más de tres anillos) como el pireno, criseno y el benzantraceno (Posthuma, 1977).

Figura 1 Ejemplos de hidrocarburos presentes en el petróleo

Como se mencionó anteriormente, si bien el petróleo se constituye en su mayoría por hidrocarburos, también tiene compuestos no hidrocarburos. Posthuma (1977) propone una agrupación para dichos compuestos según su naturaleza química:

- Compuestos con azufre

Este grupo es el más relevante de los compuestos heteroatómicos presentes en el petróleo. En general, a mayor densidad y menor gravedad API el contenido de compuestos de azufre es mayor (Speight, 2014); el contenido de azufre varía de 0.04% (en peso) a crudos donde representa el 5% como es el caso de algunos petróleos pesados (Posthuma, 1977). Se sabe que la proporción de estos compuestos es más alta en crudos de mayor masa molecular, siendo los sulfuros cíclicos como el benzotiofeno los predominantes.

- Compuestos con nitrógeno

Es común identificar petróleo sin presencia alguna (incluso sin trazas) de nitrógeno, sin embargo, cuando sí está presente representa hasta el 2% de la composición. Usualmente, aparece con mayor frecuencia en fracciones con puntos de ebullición elevados. El nitrógeno presente en el petróleo se clasifica como básico y no-básico. Los compuestos básicos se comprenden por piridinas, quinoleínas, benzoquinoleínas y acridinas. Los no básicos son los pirroles, indoles, carbazoles y benzocarbazoles (Posthuma, 1977; Speight, 2014).

- Compuestos con oxígeno

El contenido de oxígeno es usualmente menor al 2% en los petróleos crudos. El tipo de compuestos identificados incluye: ácidos grasos, fenoles, ácidos carboxílicos, ácidos nafténicos, lactonas, éteres, cetonas y ésteres siendo los ácidos grasos y los nafténicos los más abundantes (Posthuma, 1977). Estos compuestos tienen mayor presencia en las fracciones de destilación por encima de los 400°C (Botello, 2005); de hecho, en las fracciones no volátiles de crudo el oxígeno constituye hasta el 8% de la mezcla (Speight, 2014).

- Porfirinas

Las porfirinas son compuestos de origen orgánico que, pese a tener nitrógeno en su estructura (usualmente se encuentran en la porción no-básica de nitrógenos en el petróleo), no se clasifican en “compuestos con nitrógeno”. Se clasifican de forma separada porque su origen se atribuye a la clorofila de las plantas y la hemoglobina presente en los animales (Reynolds, 1998), lo que las hace notablemente importantes como bio-marcadores (especies químicas que establecen una relación entre los compuestos encontrados en la geósfera y sus precursores biológicos (Speight, 2014), ya que esta característica las hace especialmente útiles para dar soporte a las teorías del origen del petróleo. En esencia, las porfirinas se forman por la unión de anillos pirrólicos unidos por puentes de metino; se presentan también como compuestos organometálicos de vanadio y níquel, compuestos presentes principalmente en crudo pesado. El contenido de porfirinas en el petróleo varía de 1 mg/L a 350 mg/L (Posthuma, 1977).

- Asfaltenos

La estructura química de estos compuestos no ha sido definida, sin embargo, la postulación de que están conformados por nitrógeno, azufre, oxígeno, metales, así como hidrocarburos con puntos de ebullición bajos (como lo son el pentano o el propano) es generalmente aceptada; la presencia de esta variedad de heteroátomos los convierte en los compuestos más complejos presentes en el petróleo. Se sabe que son moléculas con masas molares elevadas, formadas por 10 a 20 anillos con cadenas laterales alifáticas y nafténicas, altamente aromáticas, solubles en disolventes aromáticos, pero no en disolventes parafínicos (Reynolds, 1998).

- Trazas de metal

Diferentes metales (generalmente partes por millón), están presentes en el petróleo como: vanadio, níquel, cobre, zinc, hierro, titanio, calcio y magnesio, los dos primeros son los más abundantes, alcanzando concentraciones de miles de

mg/L (Posthuma, 1977). Son relevantes por sus implicaciones, ya que pese a su poca concentración, su presencia puede afectar de forma negativa los procesos de destilación al desgastar los catalizadores o causar corrosión.

Además, el petróleo contiene compuestos orgánicos con nitrógeno, oxígeno y azufre que no son hidrocarburos. Estos constituyentes aparecen en prácticamente todas las fracciones de petróleo pero tienden a concentrarse principalmente en las fracciones pesadas y en los residuos no volátiles (Speight, 2014).

El petróleo presenta diferencias de composición de acuerdo con el lugar de dónde es extraído debido a que (Speight, 1998):

- La composición de la materia orgánica precursora varía de sedimento a sedimento. Es decir, la naturaleza misma del sedimento afecta directamente en la composición del futuro producto.
- Las variables de temperatura, presión, y catálisis inorgánica, conocidas como condiciones de maduración, a las que se ve expuesta la materia orgánica inicial. Es decir, el ambiente en el que se lleva a cabo el proceso de maduración.
- Procesos de separación que actúan de forma natural sobre el petróleo formado.
- La migración subterránea de líquidos y gases a lugares donde se verán atrapados en lo que se conoce como reservas.

Dado que, como se mencionó anteriormente, la composición varía de yacimiento a yacimiento (ya sea que cambie en cuanto a masas moleculares y moléculas presentes), al hablar de los constituyentes del petróleo se hace de una forma general que señala lo que probablemente podría contener, lejos de establecer una constitución específica.

Respecto a las propiedades físicas, se sabe que la gravedad específica del petróleo comercial varía de 0.75 a 1 (a 15.6°C) o de  $57^{\circ}-10^{\circ} \frac{\rho_{\text{petróleo}}}{\rho_{\text{agua}}}$  a la misma temperatura. Por otra parte, el punto de ebullición varía de 20°C hasta 300°C (Speight, 2014).



Como ha quedado demostrado, el petróleo es una mezcla compleja de varios compuestos con diferentes intervalos de temperaturas de ebullición. Es técnicamente imposible separar el crudo en todos sus componentes individuales (Simanzhenkov e Idem, 2003). No obstante, esto no representa una limitación para separarlo en grupos de hidrocarburos con tamaños y estructuras químicas similares, la cual se logra por destilación en fracciones de diferentes intervalos de ebullición. Industrialmente, estas separaciones se llevan a cabo en las refinerías petroleras por medio de destilación primaria.

Este método se lleva a cabo en torres de fraccionamiento. Chow Pangtay (2010) describe el proceso de la siguiente manera:

“Se calienta el crudo a 400 °C para que entre vaporizado a la torre de destilación. Aquí los vapores suben a través de pisos o compartimentos que impiden el paso de los líquidos de un nivel a otro. Al ascender por los pisos los vapores se van enfriando. Este enfriamiento da lugar a que en cada uno de los pisos se vayan condensando distintas fracciones, cada una de las cuales posee una temperatura específica de licuefacción.”

Este proceso se realiza a presión atmosférica (101 325 Pa), por lo que solo se separan las fracciones cuyo punto de ebullición es hasta los 350°C, usualmente moléculas con hasta 20 átomos de carbono en su estructura química que regularmente consisten en

<b>Fracción destilada</b>	<b>Intervalos de temperaturas de ebullición</b>
<b>Diesel</b>	240°C–350°C
<b>Kerosina</b>	180°C–240°C
<b>Nafta</b>	140°C–180°C
<b>Gasolina y gases combustibles</b>	140°C

**Tabla 1 Fracciones destiladas de una torre de fraccionamiento a presión atmosférica con sus respectivos puntos de ebullición (Simanzhenkov e Idem, 2003).**

A estas fracciones se les conoce como “fracciones ligeras”. Mientras que a la mezcla de compuestos sobrantes de la destilación atmosférica se le denomina “fracciones pesadas”. Este residuo atmosférico se envía a una segunda torre de destilación donde se busca recuperar más combustibles a condiciones del alto vacío, ya que de otra manera los componentes se descompondrían térmicamente generando compuestos volátiles indeseables y coque. Se obtiene, de este segundo proceso, una fracción de destilados y una fracción de residuos. La fracción de destilados consiste en parafinas e hidrocarburos comúnmente empleados en aceites lubricantes, mientras que la fracción de residuos está compuesta por asfaltos y combustóleo pesado (ver figura 1).

Tanto la destilación a presión atmosférica como la realizada en condiciones de alto vacío producen fracciones que son empleadas en procesos subsecuentes como materia prima. Estos procesos de refinación para su conversión y tratamiento se ejecutan para conseguir productos con mayor utilidad comercial.

Ejemplos de estos procesos de refinación, son:

- Hidrotratamiento: El objetivo de este proceso es estabilizar catalíticamente los petrolíferos y eliminar los posibles contaminantes que pudieran contener al tratarlo con hidrógeno. Las reacciones se llevan a cabo a una temperatura de entre 315°C y 400°C y consisten básicamente en la conversión de hidrocarburos insaturados como las olefinas en compuestos saturados (Secretaría de Energía, 2014).
- Reformación: La finalidad de este proceso es aumentar el octanaje de la gasolina. Cuando el proceso se lleva a cabo por medio de la temperatura se conoce como “reformación térmica”; en cambio, si se utiliza un catalizador se llama “reformación catalítica”. La reformación térmica produce gasolina con octanaje de 60 a 80, dependiendo del petróleo. Que incrementa el octanaje hasta alcanzar valores alrededor de 90 y 95. Esto demuestra que la reformación térmica es menos efectiva que la catalítica, además de que es más costosa (Speight, 2014).

- Isomerización: Mediante este proceso se busca que las fracciones ligeras de la gasolina compuestas, en su mayoría, por butano, pentano y hexano mejoren su octanaje. Esto se consigue a través de un proceso catalítico que reorganiza la estructura química de las parafinas de cadena lineal en parafinas de cadena ramificada.
- Desintegración catalítica: Este método es utilizado para aumentar la eficiencia de producción de gasolina a partir de crudo. Lo que hace básicamente es descomponer las moléculas de hidrocarburos más grandes o complejas, en moléculas más ligeras y simples. Esto se logra poniendo la fracción pesada en contacto con el catalizador adecuado a condiciones idóneas de temperatura, presión y tiempo de exposición. Este proceso da como resultado cantidades sustanciales de gasolina y otros compuestos ligeros. También existe la desintegración térmica, la cual comparte el mismo objetivo que la catalítica pero no se utiliza un catalizador sino altas temperaturas. Sin embargo, la desintegración catalítica presenta claras ventajas sobre la térmica, por ejemplo: la gasolina que se produce catalíticamente tiene un octanaje mayor y está compuesta, en su mayoría, por isoparafinas y compuestos aromáticos que, otra vez, tienen mayor octanaje, así como una mayor estabilidad química comparados con las monoolefinas y diolefinas que representan el mayor porcentaje en la composición de la gasolina obtenida por desintegración térmica.
- Alquilación: Síntesis química entre un compuesto parafínico o aromático que, en presencia de un catalizador, se une con olefinas, que son compuestos inestables, para formar moléculas isoparafínicas que son más grandes, estables y valiosas por tener octanajes elevados, es decir, mayores a 87 (Speight, 2014), al resultado se le conoce como gasolina alquilada. El proceso industrial consiste en combinar, ya sea propileno o butileno con isobutano en presencia de ácido fluorhídrico o sulfúrico (el cual actúa como catalizador).
- Polimerización: Consiste en la transformación de olefinas en estado gaseoso en combustible al que se le llama gasolina polimerizada de alto octanaje. Esto se logra de dos formas: combinando propano o buteno, con isobutano bajo

condiciones de altas temperaturas (510°C–595°C [Speight, 2014]) o en presencia de un catalizador ácido, como el ácido sulfúrico, a menores temperaturas (150°C–220°C [Speight, 2014]). La polimerización térmica no es tan efectiva como la catalítica, pero tiene la capacidad de polimerizar compuestos saturados que no reaccionan catalíticamente.

Como resultado del procesamiento de hidrocarburos derivados de la refinación del petróleo se obtienen varios productos químicos. Enseguida se presenta una breve descripción de ellos, mencionando sus principales usos:

- Gas LP: Compuesto en su mayoría por butano y propano, el gas de petróleo licuado es uno de los principales productos combustibles obtenidos de la destilación. Se produce en estado gaseoso, pero se almacena y manipula en fase líquida, estado de agregación al que se transforma a través de presión y enfriamiento. El Gas, L.P., es por sí mismo incoloro e inodoro; es utilizado como combustible en estufas, boilers y calefactores.
- Gas Nafta: Es un disolvente de uso industrial compuesto en su mayoría por isoparafinas, aromáticos, parafinas y naftenos. Es muy inflamable, altamente volátil, incoloro e inodoro. Tiene diferentes aplicaciones, como agente de limpieza en litografía, quitamanchas en tintorerías, diluyente de aceites lubricantes y como disolvente de pinturas y recubrimientos.
- Gasolina: Es una mezcla líquida de hidrocarburos volátiles e inflamables. Estos hidrocarburos tienen puntos de ebullición entre los 180°C y 200°C. Los constituyentes de los hidrocarburos que tienen este punto de ebullición usualmente son aquellos con 4 a 12 carbonos en su estructura química, como lo son las parafinas (incluyendo las cicloparafinas e isoparafinas), las olefinas y los aromáticos. La concentración de cada uno de estos compuestos varía considerablemente en cada tipo de gasolina, ya que depende de varios factores como el origen del petróleo y el proceso de refinamiento. Además, la gasolina como producto final, no tiene una misma clase y longitud de cadenas de

hidrocarburos, ya que es producida para cumplir especificaciones y regulaciones definidas y no para tener una composición de hidrocarburos estándar.

El desempeño y la calidad de la gasolina utilizada en automóviles, está determinado por su resistencia a la detonación, es decir, su propiedad antidetonante. El índice que mide esta propiedad se conoce como índice de octano, cuya escala se construyó asignando al n-heptano (que es muy detonante), un índice de octano de cero; y al iso-octano (que es poco detonante) un índice de octano de 100. Entonces mientras mayor sea el número mayor es su capacidad antidetonante en consecuencia mayor calidad pues tiene mayor poder y eficiencia para el motor.

Este producto de la destilación del petróleo es considerado como uno de los más importantes por su relevancia como combustible en motores de combustión interna los cuales predominan en la industria automotriz. Además, tiene aplicaciones como disolvente de aceites y grasas.

- Kerosina: Denominado también como queroseno, es un líquido inflamable y normalmente incoloro con una volatilidad menor a la de la gasolina; bulle entre los 140°C y 320°C. Su composición química depende del crudo del que proviene, sin embargo, usualmente consiste en mezclas de hidrocarburos que contienen de 10 a 16 átomos de carbono; entre ellos compuestos como n-dodecano, alquilbencenos y naftalinas.

Sus aplicaciones son diversas: es utilizado para calentadores, combustible en lámparas, disolvente de vaselinas e insecticidas, y también como combustible para motores de algunos aviones.

- Diésel: También conocido como gasóleo, es un hidrocarburo compuesto principalmente por parafinas, naftenos y componentes aromáticos. Este líquido, de color claro e insoluble en agua, se obtiene a una temperatura entre los 200°C y 380°C. Su principal uso es como energético para la producción de electricidad y como combustible para motores de camiones de carga, automóviles, autobuses, maquinaria agrícola y de la construcción.

- Turbosina: Este destilado del petróleo se encuentra en estado líquido, no es soluble en agua y tiene una apariencia brillante y clara. Se emplea como combustible para aviones ya que es un producto de alto índice de octano que ofrece un buen rendimiento a grandes altitudes.
- Aceites lubricantes: Son mezclas constituidas por aceites parafínicos, asténicos y aromáticos; de baja volatilidad, y de viscosidad entre intermedia y alta dependiendo de su composición química ya que pueden ser nafténicos los cuales tienen un menor índice de viscosidad o parafínicos, con altos índices de viscosidad. Su rango de ebullición oscila entre 371 °C y 538 °C. Se utilizan como base para la elaboración de lubricantes terminados, que son empleados en aceites de motor, aceites hidráulicos, lubricantes y aceites para engranajes.
- Vaselinas: La vaselina es el resultado de un aceite lubricante sometido al tratamiento de un agente espesante (comúnmente son jabones). Este excipiente es utilizado principalmente en formulaciones cosméticas y productos farmacéuticos.
- Combustóleo: También conocido como *Fuel Oil*, es un aceite compuesto por hidrocarburos pesados, de color oscuro, viscoso e insoluble en agua; es utilizado como combustible pesado en plantas de generación de energía, hornos, calderas industriales y barcos.
- Gasolvente: disolvente alifático incoloro, de olor a petróleo, que se obtiene de los cortes ligeros de la nafta; de acuerdo a sus especificaciones el 50% de su volumen debe destilar a 100°C como máximo, el 90% a 120°C y la temperatura final de destilación no debe ser mayor a 140° C (Diccionario de Términos de Refinación, 2007). Es empleado principalmente como disolvente para barnices, asfalto, grasas, aceites y para resinas naturales.
- Asfaltos: Es una fracción del petróleo que está conformada en su mayoría por compuestos no volátiles, como asfáltenos, aceites, resinas y principalmente por bitúmenes. No puede ser destilado, ni siquiera al alto vacío, pues las temperaturas necesarias para lograrlo promueven la formación de coque.

Se utilizan como material sellante en la industria de la construcción, se emplean en la pavimentación de calles y carreteras; también tienen aplicación en impermeabilizantes de techos y en algunos barnices.

- Parafinas: Estos son hidrocarburos saturados. Conformados por alcanos en los que predominan las cadenas de entre 20 y 60 carbonos, acompañadas de ramificaciones de uno a seis carbonos e hidrocarburos con uno o varios ciclos de entre cinco y seis átomos de carbono (Iznar, 2001).

La producción de estos depende del origen del crudo y el corte de destilación del que procedan. El aceite presente en las parafinas representa entre el 0 y el 1.5% en masa, el azufre está presente en concentraciones de 30 a 4000 ppm (partes por millón) mientras que el contenido de aromáticos es usualmente inferior a 0.5%.

Las parafinas son utilizadas en una gran variedad de productos como las velas, ceras para cubrir alimentos, productos termoplásticos, así como en la industria textil y cosmética.

- Grasas: Las grasas son mezclas de aceites lubricantes y jabones metálicos, a los que posteriormente se añaden materiales de función específica, como amianto, grafito, molibdeno, siliconas y talco para proporcionar aislamiento o lubricidad.

El petróleo se clasifica de acuerdo con dos propiedades especialmente útiles para su comparación: la gravedad API (parámetro del American Petroleum Institute) y por su contenido de azufre.

El parámetro API mencionado previamente se determina a través de la siguiente ecuación:

$$^{\circ}API = [(141.5)(Sg)] - 131.5$$

Donde  $Sg$  = gravedad específica a 60°F.

Esta densidad indica qué tan liviano es el producto, los crudos más ligeros tienen pequeñas partículas en mayor proporción, lo que hace más simple que este se

convierta en productos derivados al pasar por las refinerías. Los crudos más pesados tienen moléculas grandes en mayor proporción, haciéndolos más complicados de tratar y generando diferentes productos.

Por otra parte, el contenido de azufre indica qué tan “contaminado” se encuentra el producto por uno de los elementos que están presentes en esta mezcla. Niveles altos de azufre pueden desactivar los catalizadores que aceleran las reacciones deseadas en los procesos de refinación, puede provocar también corrosión en los sistemas y finalmente este puede ser emitido al ambiente como algún compuesto contaminante.

La siguiente tabla presenta la manera en la que se clasifican los tipos de petróleo, con base en su gravedad API y su contenido de azufre.

Clasificación de crudo	Rango	
	Gravedad (°API)	Contenido de azufre (% masa)
Light Sweet	35–60	0–0.5
Light Sour	35–60	> 0.5
Medium Medium Sour	26–35	0–1.1
Medium Sour	26–35	> 1.1
Heavy Sweet	10–26	0–1.1
Heavy Sour	10–26	> 1.1

**Tabla 2 Clasificación de crudo (Speight, 2014)**

### 3. Introducción

El estatus de las reservas mundiales de crudo es un tema controversial. Existe quien defiende la idea de que la producción de productos derivados del petróleo descenderá pronto por la inminente limitación del recurso, mientras otros (generalmente las compañías petroleras internacionales) aseguran que existen reservas suficientes para



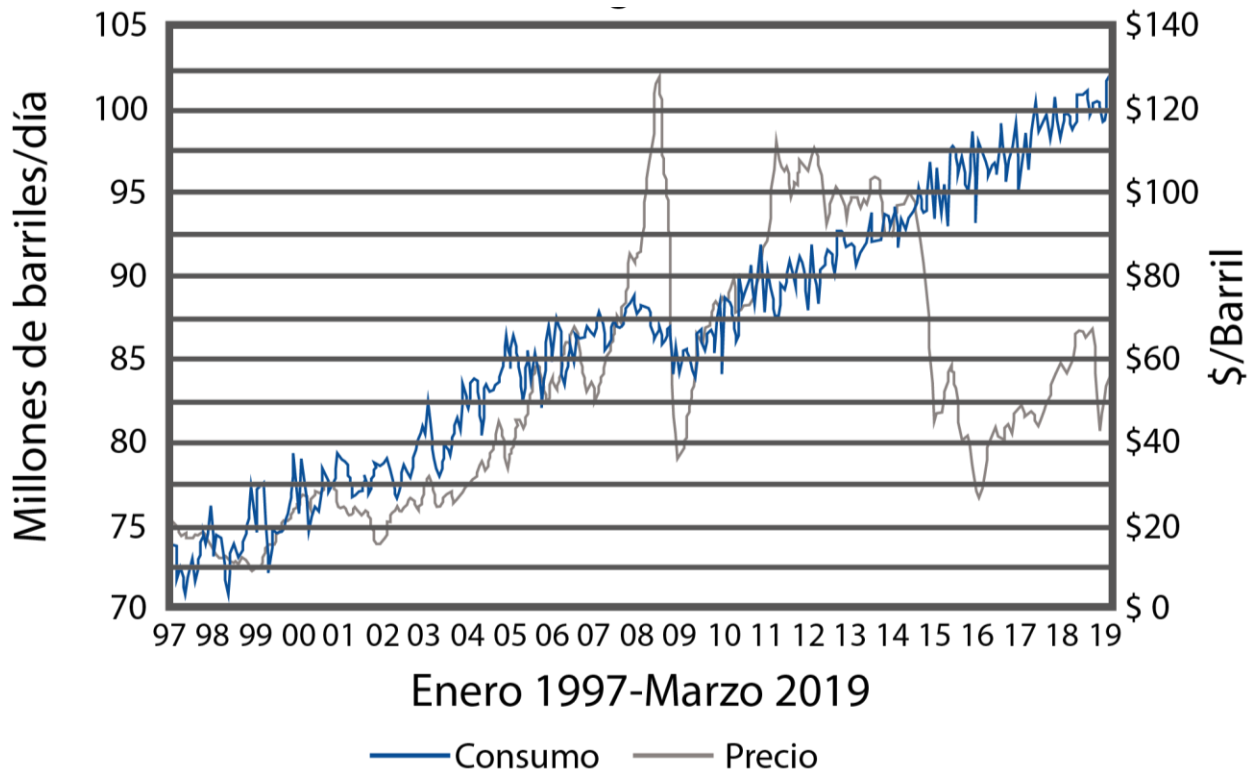
continuar produciendo por años y que dicha producción está limitada únicamente por el precio y la tecnología.

Esta discusión puede ser más clara si se toma en cuenta la estimación mundial de crudo aprovechable. Con base en esto, la mayoría de los científicos comparten la idea de que a pesar de que existen grandes cantidades de petróleo en la tierra, el volumen que puede ser explotado sin afectar a la economía global tiene un límite (Herzog, 1940). Como consecuencia, es probable que el petróleo cambie de ser resultado de la demanda y pase a ser limitado por el suministro del recurso.

En los últimos años, varios reportes publicados aseguran que el abasto de petróleo no es seguro, y es una industria no sostenible (Ivanhoe, 1995). Algunos de estos estudios mencionan que la producción de petróleo alcanzará su punto máximo, a finales del siglo XXI, mientras otros menos conservadores establecen que podríamos estar a tan solo 10 años de alcanzarlo (Secretaría de Energía, 2014), y que, una vez alcanzado, la producción disminuirá hasta no ser capaz de cubrir la demanda.

El petróleo es un recurso no renovable y, aunque su producción ha excedido a la demanda desde 1997 (Plummer Minniear, 2000), el consumo mundial se incrementa constantemente, en contraste con los descubrimientos de nuevos yacimientos, los cuales han disminuido.

De acuerdo con la evidencia, la producción de petróleo actual tiene una capacidad limitada para satisfacer la creciente demanda, es por esto que la demanda adicional deberá ser cubierta por fuentes alternativas (IEA, 2008). Después de todo, hay una cantidad finita de petróleo en la tierra.



**Gráfica 1 Consumo global del petróleo (BP, 2019)**

## 4. Objetivos

### 4.1 General

Esbozar la situación actual de la industria petrolera en México y el mundo. Además, presentar sus perspectivas a futuro.

### 4.2 Particulares

- Elaborar un proyecto de tesina que sirva como documentación en un tema de interés nacional.
- Mapeo y análisis de los factores que rodean y limitan la industria petrolera como el consumo y la demanda de crudo.
- Corroborar los avances de estimación de crudo disponible conforme al análisis de las variables de oferta y demanda y su relación a la economía y estabilidad.
- Analizar e identificar los posibles escenarios que se prospectan para el petróleo y su explotación a futuro.

## 5. Marco teórico

### 5.1. El petróleo en el mundo

Con el fin de proporcionar una visión más clara del mercado global de crudo, se presentan temas como la composición y distribución de los yacimientos a nivel global. Además, se detalla el consumo del petróleo para esbozar la importancia de este material en el mercado internacional.

#### 5.1.1. Composición y distribución del petróleo a nivel mundial

Además de la clasificación mencionada anteriormente en los antecedentes, que considera los grados API y el contenido de azufre del petróleo, existe también una clasificación del crudo que denomina crudos de referencia, la cual se emplea para tener bandas del valor de ciertos tipos de crudos basándose en conjuntos de características específicas y en su lugar de origen. Con esto se le asigna un valor de mercado a los diferentes tipos de petróleo que se comercializan en el mundo.

Nombre	Origen	Clase	Propiedades	
			°API	Azufre (% masa)
Brent	Reino Unido	Light Sweet	40.0	0.5
West Texas Intermediate	EEUU	Light Sweet	39.8	0.3
Arabian Extra Lt. Export	Arabia Saudita	Light Sour	38.1	1.1
Daqing	China	Medium Medium Sour	33.0	0.1
Forcados Export	Nigeria	Medium Medium Sour	29.5	0.2
Arabian Light Export	Arabia Saudita	Medium Sour	34.0	1.9
Kuwait Export Blend	Kuwait	Medium Sour	30.9	2.5
Marlim Export	Brasil	Heavy Sweet	20.1	0.7
Cano Limon	Colombia	Heavy Sweet	25.2	0.9
Oriente Export	Ecuador	Heavy Sour	25.0	1.4
Maya Heavy Export	México	Heavy Sour	21.3	3.4

Tabla 3 Tipos de petróleo comercializado en el mundo

Tanto los distintos gobiernos alrededor del mundo, como la industria privada han destinado recursos para evaluar la situación actual de las reservas de petróleo. Sin embargo, nadie sabe con exactitud cuánto petróleo existe, lo que más se ha logrado conseguir hasta el día de hoy son estimados.

El término “reservas” es muy amplio, hace referencia al petróleo que se sabe que existe, ha sido identificado y aparte, que puede ser extraído con alguna ganancia comercial. Este término engloba tres conceptos clave cuya comprensión facilita el ejercicio de determinar cuánto petróleo queda en el mundo:

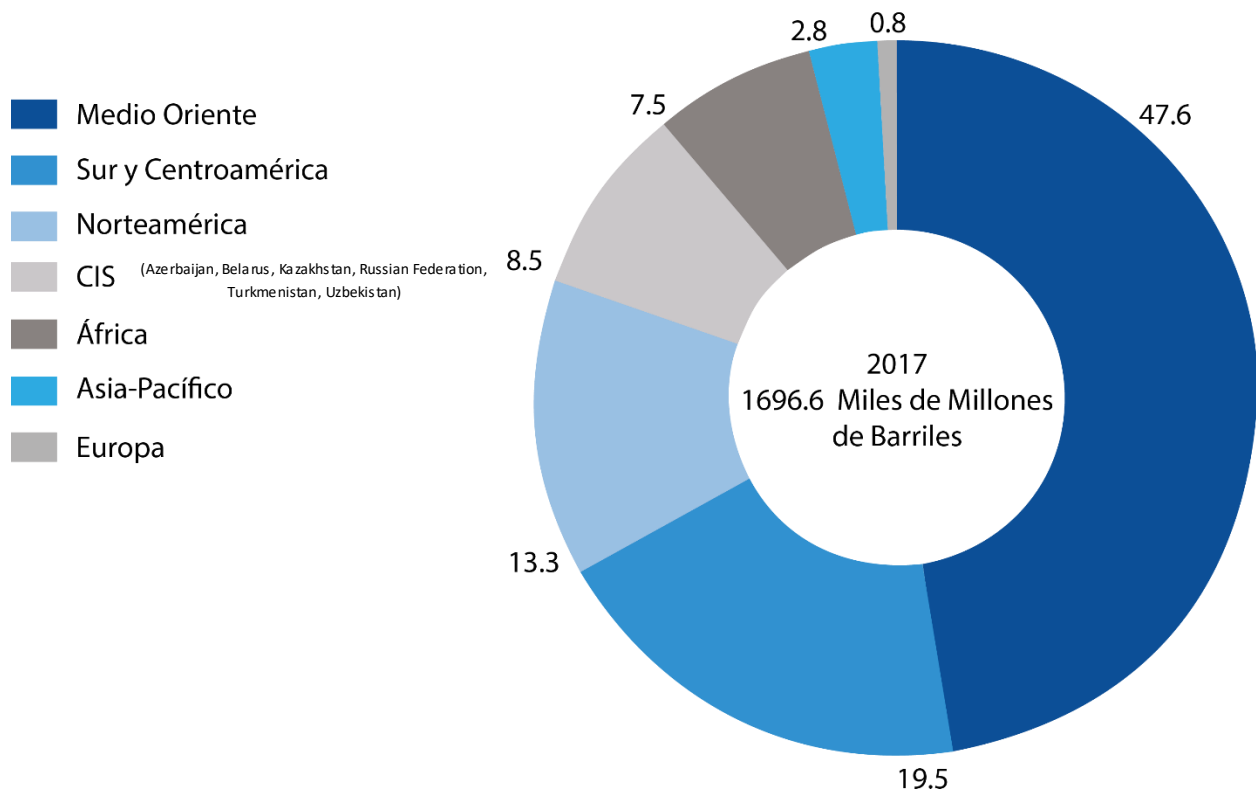
- Reservas probadas: La comisión de bolsa y valores, *SEC* por sus siglas en inglés, establece que las reservas probadas son cantidades estimadas de aceite crudo, gas natural y líquidos del gas natural, las cuales, mediante datos de geociencias y de ingeniería, demuestran con certidumbre razonable que serán recuperadas comercialmente en años futuros de yacimientos conocidos bajo condiciones económicas, métodos de operación y regulaciones gubernamentales existentes a una fecha específica (Securities and Exchange Commission, 2009).
- Reservas probables: Las reservas probables son aquellas reservas que, aunque no están probadas, mediante análisis de datos geológicos y de ingeniería se consideran con mayor probabilidad (>50%) de ser recuperables que de no serlo.
- Reservas posibles: Este tipo de reservas, también conocidas como reservas P10 o P20, son aquellas de las que se infiere su existencia. No están probadas, y tienen una probabilidad de recuperación menor que las probables.

En general, la porción de reservas posibles y probables tienden a convertirse en reservas probadas con el paso del tiempo, ya que el historial operativo reduce la incertidumbre, a este fenómeno se le conoce como “crecimiento de reservas”.

En el reporte anual de la compañía energética British Petroleum informa el número de barriles de reservas a nivel mundial (esta cifra considera el gas natural condensado y

líquido), esto considerando únicamente reservas probadas (BP, 2018). Su estimado es realizado siguiendo los lineamientos internacionales y usando sólo información de fuentes oficiales por lo que su información se utilizará sin reservas a lo largo de este trabajo.

En 2018, las reservas mundiales de petróleo fueron de 1,696 mmb (miles de millones de barriles), lo que significó una reducción de 0.1% en comparación con las reservas probadas en 2017. La región con la mayor cantidad de reservas es Medio Oriente, que con un volumen de 807 mmb en 2018, alcanzó una participación del 47.7% del total mundial. La región Sur y Centroamérica contó con 328 mmb, lo que la ubica como la región de mayor crecimiento en los últimos diez años (Secretaría de Energía, 2014). Por otra parte, Norteamérica alcanzó los 227 mmb, que le permitieron aportar un 13.3% de total mundial; México se ubica en esta región y su volumen de reservas de petróleo sumaron 7.2 mmb lo que representa tan solo el 0.4 % de las reservas mundiales. La figura 2 muestra la distribución mundial de las reservas probadas por región:



**Gráfica 1 Distribución por región de las reservas probadas del petróleo al 2018 (BP, 2018)**

Es importante señalar que todos los estimados de reservas tienen cierta incertidumbre, estas reservas han sido estimadas considerando que su extracción es técnicamente posible con las herramientas y recursos actuales, sin tomar en cuenta su viabilidad económica actual; este concepto considera que, de tomar como criterio los costos de producción se estaría incurriendo en un error ya que lo que pudiera parecer absolutamente inviable económicamente hoy en día puede ser viable en un futuro. Es por esto que los estimados de reservas aquí presentados consideran porciones de reservas que pueden ser explotadas con la tecnología actual o razonablemente previsible, dejando a un lado la viabilidad económica.

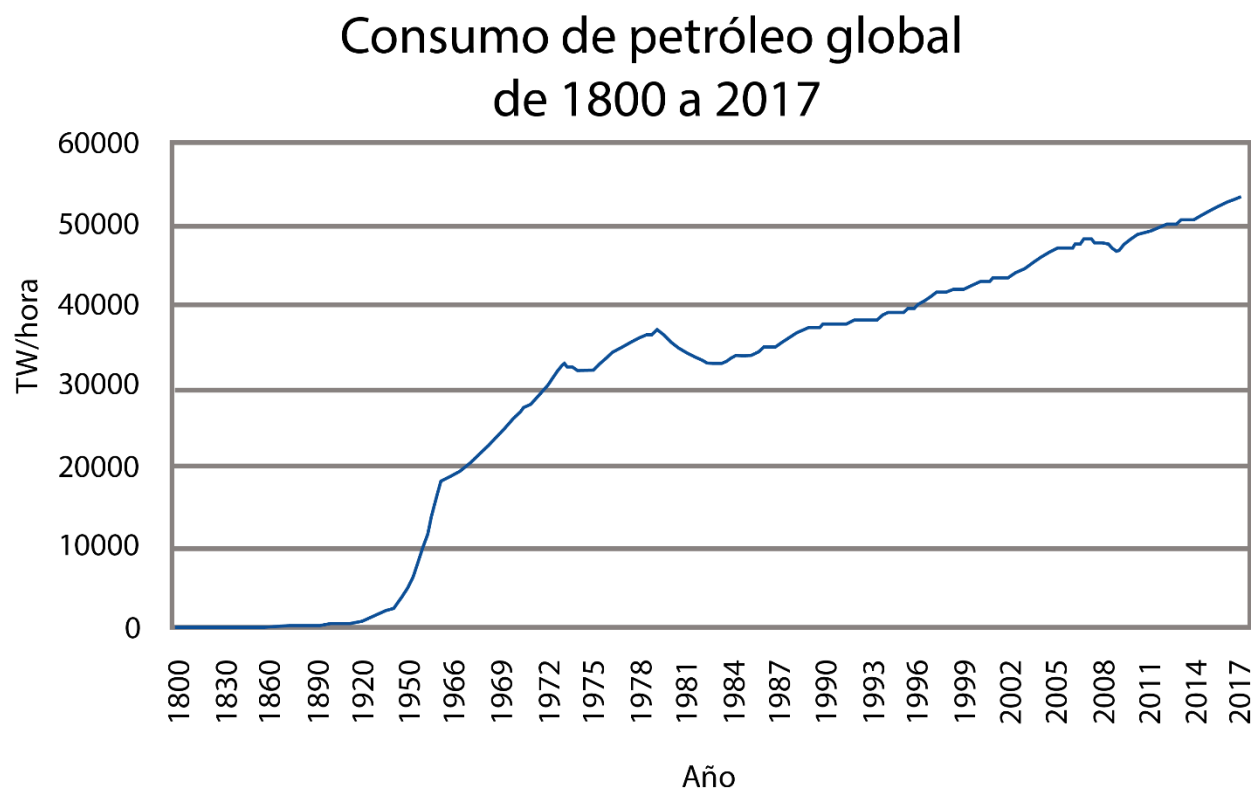
Por toda parte, están las porciones de petróleo que no han sido descubiertas. Sin embargo, a los posibles descubrimientos a futuro se les considera poco relevantes ya que se cree que todos los yacimientos representativos han sido ya identificados (Ivanhoe, 1995). Se considera que los más de 1,300 yacimientos ya identificados contienen un 94% del petróleo mundial (Ivanhoe, 1986).

Los combustibles fósiles como el carbón, el crudo y el gas, han jugado un papel dominante para el desarrollo tecnológico, social y económico de la humanidad. De estos combustibles fósiles el petróleo es, quizás, el más importante por ser no solo la fuente de energía más utilizada en la actualidad, sino por su empleo como materia prima en diversas aplicaciones. Aquí se presentan datos actuales y relevantes relacionados con el consumo y la producción de petróleo.

### **5.1.2. Consumo y producción de combustibles fósiles con enfoque en el petróleo**

La producción y consumo de combustibles fósiles se remonta a tiempos tan lejanos como el 4000 a. C., fecha en que se tienen registros del uso de carbón (Golas & Needham, 1999). Sin embargo, se considera que su producción a gran escala comenzó cerca de 1800 con el carbón; la producción del petróleo no sería significativa hasta 1870, casi un siglo después. La siguiente gráfica muestra el consumo de petróleo

desde el inicio de su producción a gran escala hasta la actualidad. En el gráfico se puede apreciar cómo, en ese lapso, el consumo de crudo ha aumentado casi 10 000 veces.



**Gráfica 2 Consumo de petróleo global a lo largo de los años, (Smil, 2017).**

De acuerdo con el Reporte Estadístico Anual de Energía Global elaborado por BP, hoy en día se consumen 11 508 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep) solamente de combustibles fósiles siendo el petróleo el combustible fósil más consumido mundialmente con 4 621tep que representa un 34%, mientras que de carbón se consumen 3 731 y 3 156 de gas natural que representan tan solo el 27% y 23% respectivamente (BP, 2018).

Los Estados Unidos de América es el más grande consumidor de petróleo globalmente. En 2017, el consumo de crudo en este país ascendió a 913 millones tep (18.6 millones de barriles por día), lo que representa un 19.76% del total global.

La Unión Europea, compuesta por 28 países, es el segundo mayor consumidor de petróleo a nivel global. En 2017, su consumo ascendió a 731.2 millones tep, consumo equivalente al 17% del total mundial.

China es el tercer consumidor más importante de crudo en el mundo. En 2017 consumió 608.4 millones tep (12.8 millones de barriles por día), figura que representa el 13% del consumo total en el mundo.

India es el cuarto consumidor de petróleo en el mundo. En 2017, el consumo de petróleo en esta nación alcanzó la cifra de 222 millones tep (4.7 millones de barriles por día), equivalente al 4.8% del consumo de crudo mundial.

Japón se encuentra en la quinta posición en cuanto a consumo de petróleo en el mundo se refiere. En 2017, su consumo fue de 188 toneladas equivalentes de petróleo (4.0 millones de barriles al día), lo que representa el 4.1% del consumo mundial de petróleo.

Arabia Saudita es el sexto consumidor de petróleo a nivel global. En 2017, el consumo de este país fue de 172 tep (3.9 millones de barriles por día), lo que significa un 3.7 por ciento del consumo mundial.

En la posición séptima se encuentra Rusia. En 2017, su consumo fue de 153 millones tep (3.2 millones de barriles por día), lo que representa un 3.2% del consumo en el mundo.

El consumo de petróleo creció en promedio 1.4 millones de barriles por día en 2018, siendo China, la India y los Estados Unidos los países que impulsaron en mayor proporción el crecimiento (BP, 2019). Por otra parte, mientras el consumo mundial ha aumentado de forma general y desde 2007 a 2018 ha incrementado a un ritmo de 1% año tras año y se espera continúe con la misma tendencia en los años futuros, la producción de crudo presenta un escenario distinto.

La producción de crudo empezó a disminuir, en la mayoría de los países en el 2005 (Plummer Minniear, 2013). De acuerdo a la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC, por sus siglas en inglés), tan solo en junio 2019 se produjeron 63 000 barriles al día menos comparado con la misma fecha en 2018 (OPEC, 2019).



Como se muestra a continuación, al cierre de 2018, la producción en estas naciones pertenecientes a la OPEC fue de 31.864 mb/d, 150 mb/d menos que en 2017. El decremento es más significativo en Irán, Libia y Angola.

	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Argelia</b>	1 047	1 042
<b>Angola</b>	1 634	1 505
<b>Congo</b>	252	317
<b>Ecuador</b>	530	519
<b>Guinea Ecuatorial</b>	133	125
<b>Gabón</b>	200	187
<b>Irán</b>	3 813	3 553
<b>Irak</b>	4 446	4 550
<b>Kuwait</b>	2 708	2 745
<b>Libia</b>	811	951
<b>Nigeria</b>	1 658	1 718
<b>Arabia Saudita</b>	9 954	10 311
<b>EAU</b>	2 916	2 986
<b>Venezuela</b>	1 911	1 354
<b>Total OPEC</b>	<b>32 014</b>	<b>31 864</b>

Tabla 4 Producción de petróleo 2017 y 2018 en toneladas equivalentes de petróleo/día (OPEC, 2019).

Estados Unidos de América es el mayor productor de petróleo a nivel mundial. En 2018 EUA produjo 15 311 miles de barriles por día, lo que representa el 16.2% de la producción mundial de petróleo (BP, 2019).

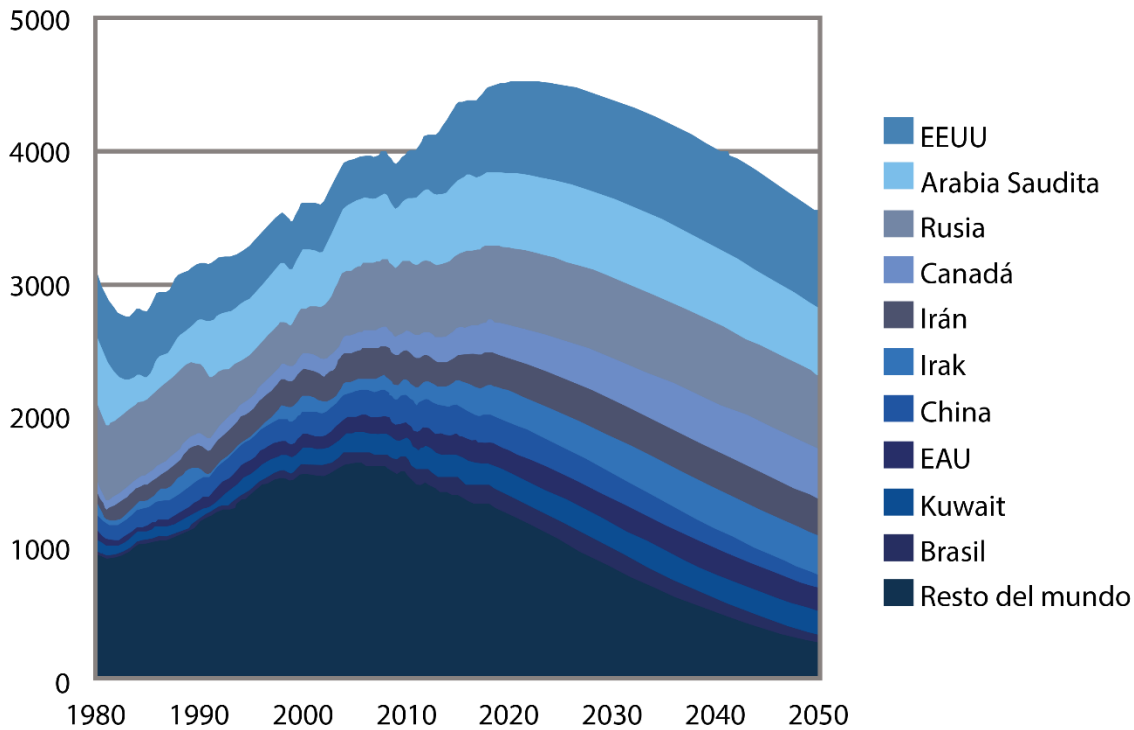
Arabia Saudita es el segundo productor de crudo más importante a nivel mundial. En 2018 produjo 12 287 miles de barriles por día, la mayor cantidad producida de acuerdo con datos históricos. Esta cantidad representa el 13% del total global.

La producción en Arabia Saudita está notablemente influida por factores geopolíticos. En 2014 el gobierno de este país tomó la decisión de aumentar su producción de crudo con la intención de competir con los Estado Unidos, la disminución en el precio del petróleo fue consecuencia de esta acción.

El tercer productor en el mundo es Rusia. En 2018, se produjeron 11 438 miles de barriles al día, equivalente al 12.01% de la producción en el mundo.

En 2018, Canadá produjo 5 208 miles de barriles al día, lo que lo hace el productor número 4 del mundo con un 5.5% de participación en la producción de petróleo en el mundo.

Fue también en 2018 que el quinto mayor productor del mundo, Irán produjo 4 715 miles de barriles diarios por día, lo que se traduce a una participación del 5% del total global. Sin embargo, se sabe que esta no es su capacidad máxima de producción ya que este país ha limitado su producción por razones geopolíticas (Coyne, 2018).



**Gráfica 4 Producción de petróleo en el mundo (histórica y proyectada), millones de toneladas métricas 1980-2050.**

Iraq es el sexto productor de petróleo en el mundo con una participación de 4.9% y una producción de 4 614 miles de barriles por día.

Los Emiratos Árabes ocupan la séptima posición con 3 942 miles de barriles producidos al día durante 2018, cifra que representa el 4.2% de la producción mundial.

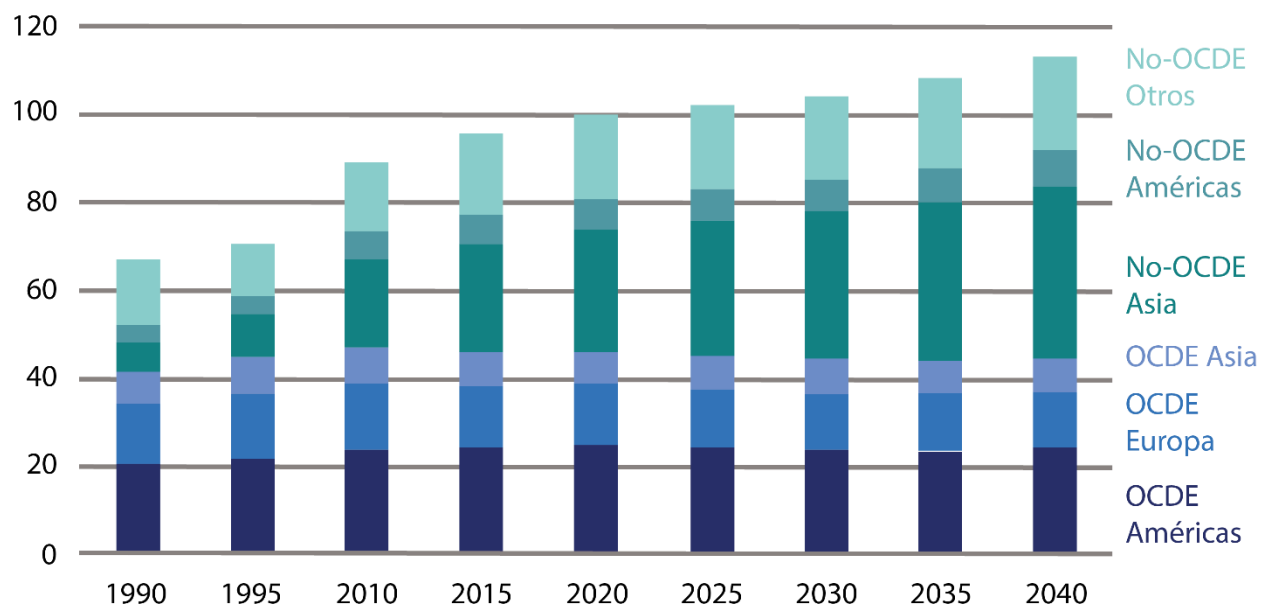
China, en la octava posición, produjo 4% del total mundial, es decir 3 798 miles de barriles diarios durante 2018.

El resto del mundo produjo en conjunto 33 404 miles de barriles por día, es decir el 35% de la producción total.

### **5.1.3. ¿Dónde y en qué se consume el petróleo?**

Retomando el tema del consumo de petróleo, sabemos que con el desarrollo global también aumenta el consumo de energía y, en consecuencia, el de combustibles. La Agencia de Información de Energía (AIE) de Estados Unidos pronostica que el consumo global de combustibles líquidos aumentará de 95 millones de barriles al día en 2015, hasta 113 millones al día para el 2040, con un crecimiento del 18%. Esto en

consecuencia al aumento de la demanda que presentan los países que no pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), con un incremento en su demanda del 1.3 % anual.



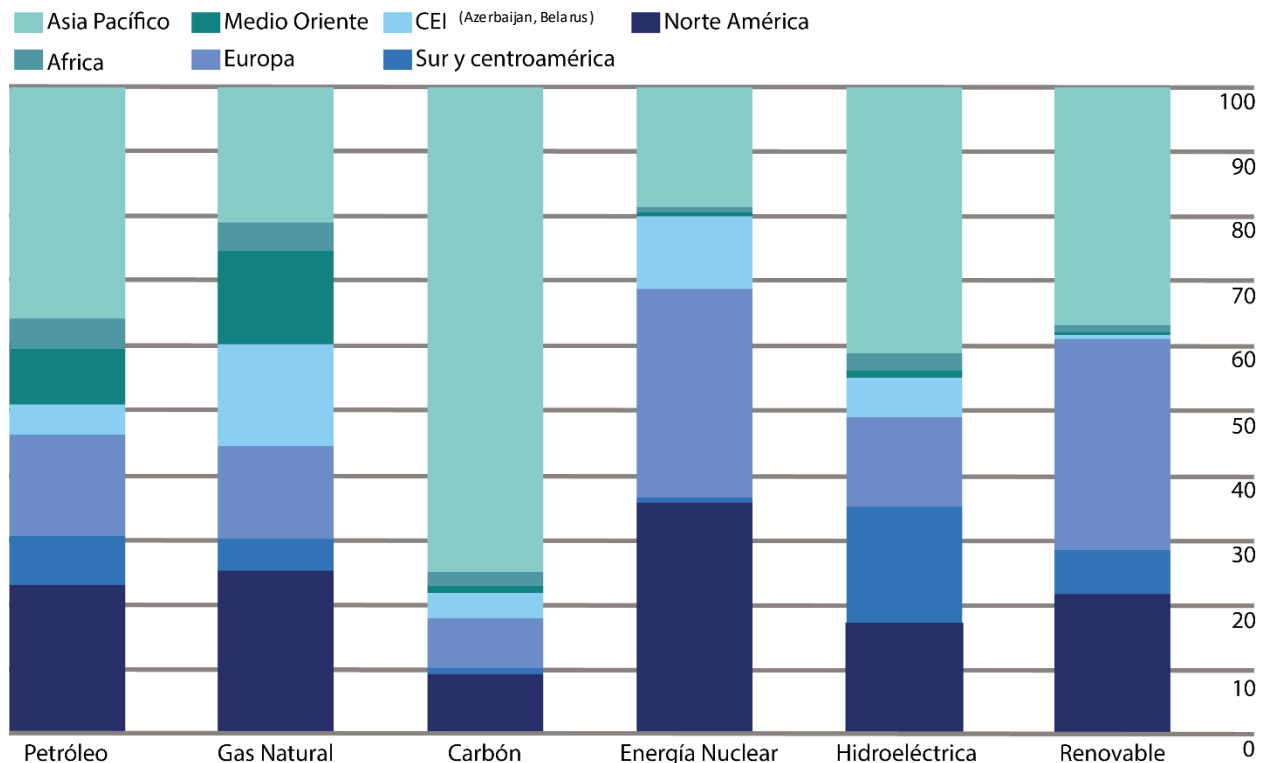
**Gráfica 5 Consumo de petróleo y otros líquidos en millones de barriles por día en el mundo (OPEC, 2015)**

Los países con mayor incremento en su consumo de combustibles lo presentan países con un gran desarrollo, como China, con un aumento del 36% o India con un incremento de hasta un 142%.

El sector en el que más se consumen combustibles es el de transporte, y se espera que esta tendencia continúe. En segundo lugar, se encuentra el sector industrial, ya sea para alimentar equipos o para generar calor, sin embargo, la tendencia de consumo en este sector incrementa cada vez más lentamente debido a la implementación de fuentes alternativas de energía.

El sector donde más decremento se nota es en el de generación de electricidad, esto debido a varios factores, como lo son el incremento en el precio del crudo, el costo relativamente bajo del gas natural, así como la tendencia global a la generación de energía a partir de fuentes alternativas.

## Consumo de combustible por región 2017



Gráfica 6 Consumo de combustible por región

### 5.1.4. Comercialización global de petróleo

A principios del siglo pasado, la existencia de petróleo en países en desarrollo era prácticamente desconocida y posterior a que se comenzó a producir este recurso, las compañías inglesas y norteamericanas crearon un cártel internacional conformado por las siete empresas más grandes, conocidas como “las siete hermanas”.

Después de la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos y Europa comenzaron a importar el recurso a precios bajos. Tan solo en este periodo, el precio de producción extraído en Estados Unidos era tres veces más elevado que el precio del crudo del Golfo Pérsico, estos costos elevados dieron lugar al incremento en la demanda de petróleo importado. Con esto, los precios del petróleo lograron mantenerse bajos, debido a la alta productividad y la concentración de actividad en los yacimientos del Golfo Pérsico. Otro factor que influyó fue la aparición de nuevas compañías independientes y la llegada del petróleo soviético al mercado.

Después de la Segunda Guerra Mundial, el consumo aumentó rápidamente, esta demanda ocasionaba nuevas concesiones en los países productores con el fin de generar mayores ganancias. Estas causaban sobreoferta lo cual reducía los precios y producía menores ganancias de las empresas. Así, para incrementar sus ganancias, las empresas intentaron reducir los precios con el objetivo de evitar el ingreso de nuevas compañías y reducir la competitividad. Esta decisión unilateral fue un hecho significativo que llevó a la creación de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo). El desarrollo capitalista de las naciones petroleras y la creciente demanda del petróleo creó las condiciones para que las clases dirigentes que controlaban el Estado en los países del Golfo Pérsico asumieran un papel más activo en la exploración, la conformación de los precios y la apropiación de la renta petrolera.

La OPEP comenzó a evitar nuevas bajas en el precio del crudo. En 1970, se llegaron a plantear propuestas tendientes a incluir los precios del petróleo en una canasta de productos manufacturados de los países industrializados. Además, se adoptó un plan quinquenal de producción con miras a que los aumentos de producción se produjeran racionalmente.

Hacia fines del mes de noviembre de 2016, la OPEP acordó reducir la producción en 1.2 millones de barriles por día a partir del mes enero de 2017. En general, los países reducen su producción en torno a un 5%, a excepción de Irán. Luego el 10 de diciembre del mismo año se produjo un nuevo acuerdo con 11 países que no integran la OPEP y liderados por Rusia, donde se estableció que reducirían su producción en alrededor de 560 mil barriles/día. Dichos acuerdos fueron destacados como históricos por los integrantes, ya que pasaron muchos años donde no se lograba alcanzar un acuerdo de esta magnitud. El acuerdo busca acelerar el reequilibrio del mercado petrolero y reducir el exceso de existencias de petróleo que presiona a los precios del crudo. Una mejora en las cotizaciones del hidrocarburo permitirá, según la OPEP, asegurar la seguridad en el suministro a mediano y largo plazo de esta importante fuente de energía. Este acuerdo generó un salto en los precios tanto del gas como del petróleo, entre noviembre y diciembre de 2016, la cotización de referencia del barril WTI saltó alrededor de un 14%. La evolución de los nuevos precios dependerá en gran

medida de que se respeten las reducciones en la producción pactada entre dichos países.

Se espera que los precios del petróleo permanezcan mostrando un leve crecimiento, siempre que el acuerdo alcanzado con los principales productores a nivel global sea respetado. Durante el primer mes del año 2017, se logró reducir la producción por parte de los países que firmaron el acuerdo, pasando de alrededor de 31 millones de barriles día a unos 30 millones de barriles día. En tanto que, para fines del año 2018, la Energy Information Administration (EIA) estima que los precios del petróleo mostraron un crecimiento en torno al 11%, alcanzando un valor de alrededor de usd 58 por barril, pero aún se ubicaría lejos de los valores alcanzados durante los años 2013 y 2014 cuando llegó a superar los 100 dólares por barril.

Las perspectivas futuras de los precios del petróleo dependen de diversos factores de difícil predicción: factores tecnológicos, geológicos, económicos, la evolución de las inversiones y la demanda; y geopolíticos, asociados a la inestabilidad y conflictos bélicos en algunos países productores.

A corto plazo no parece haber elementos para considerar un aumento sustancial en los precios, a no ser que se produzca una reducción adicional de la producción de la OPEP y otros productores o un aumento de las tensiones geopolíticas. Durante el 2015 se exportaron 5,395.47 miles de millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mmtep) en el mundo; 3.7% más que en 2014 donde tan solo el volumen de petróleo exportado fue de 2,262 MMmtep lo que significa un incremento de 4.8% y representa el 41.9% de las exportaciones totales. Los mayores exportadores de petróleo fueron Arabia Saudita (16.6%), Rusia (10.9%), Canadá (7.6%), Iraq (6.7%) y Emiratos Árabes Unidos (5.6%)

Respecto a las importaciones de energéticos, estas consiguieron un crecimiento de 2.6% respecto a 2014, alcanzando un volumen de 5 307.89 MMtep. Al igual que en las exportaciones las importaciones de crudo mostraron un incremento mayor que el total de energéticos con un aumento de 4.1% comparadas al año anterior. Los países con mayores niveles de importación fueron China (10.9%), Estados Unidos (10.6%), Japón (8.1%), India (7.0%) y Corea del sur (5.6%) (Secretaría de Energía, 2016).

## 5.2. Petróleo en México

El petróleo juega un papel tan importante en nuestro país no solo por nuestra gran dependencia hacia este recurso, sino que también está profundamente relacionado con la cultura mexicana. El petróleo se ha utilizado con fines propagandísticos y de creación de un sentimiento de nacionalismo; se han dedicado movimientos sociales y completos estudios del recurso.

Con la expropiación petrolera y la creación de Petróleos Mexicanos (PEMEX) en 1938, la industria petrolera comenzó a ser parte importante en México. PEMEX participa en toda la cadena productiva de hidrocarburos, participando desde la exploración de nuevos yacimientos hasta llegar a la distribución y comercialización de los productos finales.

Históricamente, la administración de este recurso ha sido ampliamente discutida, la más reciente legislación acerca del crudo se conoce como “La Reforma Energética”, reforma que busca crear las condiciones y el ambiente necesarios para que la industria petrolera sufra un proceso de modernización y crecimiento, confiando en la inclusión de inversiones privadas de compañías nacionales y extranjeras que le den a PEMEX la opción de desarrollar mejor su tecnología y los procesos de transformación del petróleo.

La importancia del petróleo en México es tal, que ha sido necesaria esta constante regulación de la industria que lo explota y los procesos relacionados a él para así asegurar la calidad de los productos, la administración de los recursos y el cuidado del ambiente.

En el entorno internacional actual, el sector petrolero está pasando por una crisis, debido a los cambios en la oferta y los precios del crudo. En este escenario, México tiene ventajas en cuanto a sus reservas, sin embargo, en cuanto a la producción, el país está perdiendo terreno frente a la competencia internacional.

El reto principal, para PEMEX, será el adaptar su estructura de costos al escenario internacional, a la vez que mejora su capacidad tecnológica y operativa (aprovechando las oportunidades que genera la Reforma Energética realizada en 2013 bajo el gobierno de Enrique Peña Nieto). De esta manera, será más sencillo para la empresa



acelerar sus procesos de transformación, a través de inversiones privadas, para así asegurar su rentabilidad a mediano y largo plazo.

### **5.2.1. Reservas petroleras en México**

El primer descubrimiento comercial en México ocurrió en 1904, con el pozo “La Pez-1”, localizado en San Luis Potosí. Este, produjo 1 500 barriles por día de aceite crudo, lo cual representaba un gran hallazgo en esa época.

Con la expropiación petrolera, se inició un nuevo modelo en el que PEMEX desempeñó el papel central. Las reservas aumentaron de 1 276 a 6 338 millones de barriles de crudo equivalente de 1938 a 1975. En los años siguientes, con una mayor inversión a la exploración se encontraron nuevos yacimientos, llegando hasta 72 500 millones de barriles en 1983. Posteriormente, con la estabilización de la economía, las inversiones se redujeron sustancialmente. Las reservas disminuyeron, pero la producción logró mantenerse; llegando a 52 951 millones de barriles al año.

En los últimos años, se ha incrementado la inversión destinada a exploración y explotación petrolera, incorporando nuevas reservas de gas natural en aguas profundas. Esto, da cierta idea de cómo el tener una mayor inversión y nuevos proyectos en el área aumenta los beneficios para el país.

Al final de 2018, México contaba con 7.7 miles de millones de barriles de petróleo en reservas probadas, es decir un 0.4% de todas las reservas mundiales de petróleo son mexicanas. Esta cantidad de barriles colocan a México como el 20° país con más reservas en el mundo. Aunque sigue siendo una cantidad considerable las reservas probadas de crudo en México han ido disminuyendo año tras año, en 2018 ascendían a 11.9 miles de millones de barriles y en 1998 se estimaba que existían 28.6 miles de millones de barriles de crudo en reservas probadas (BP, 2019).



**Gráfica 3 Reservas probadas en México (Secretaría de energía, 2016)**

### **5.2.2. Yacimientos nacionales**

La distribución de los campos en México de acuerdo con su ubicación se realiza en dos principales categorías, terrestres y marinos, estos últimos se subdividen en aguas someras y aguas profundas. Las reservas se están conformadas por diferentes categorías:

- Las reservas 1P son iguales a las reservas probadas.
- Las reservas 2P es igual a la agregación de reservas probadas más las reservas probables.
- Las reservas 3P es igual a la agregación de las reservas probadas más las reservas probables más las reservas posibles.

Las reservas consolidadas por la Comisión Nacional de Hidrocarburos se estimaron en 6 464.2 millones de barriles (mmb), y se encuentran en la categoría probada, lo que es equivalente al escenario de estimación alta. En este contexto, cuando se utilizan los

métodos probabilísticos, debería haber por lo menos, una probabilidad del 10% a que las cantidades reales recuperadas igualarán o superarán la estimación 3P, 5,816.5 mmb en la categoría probable y 7 139.1 mmb de aceite posibles. Los 15 principales campos petroleros son: Maloob, Ayatsil, Zaap, Akal, Ku, Kayab, Pit, Xikin, Hokchi, Onel, Balam, Xanab, Santuario, Samaria, Ek, Corralillo, Jujo–Tecominoacán, Tajín y Tekel.

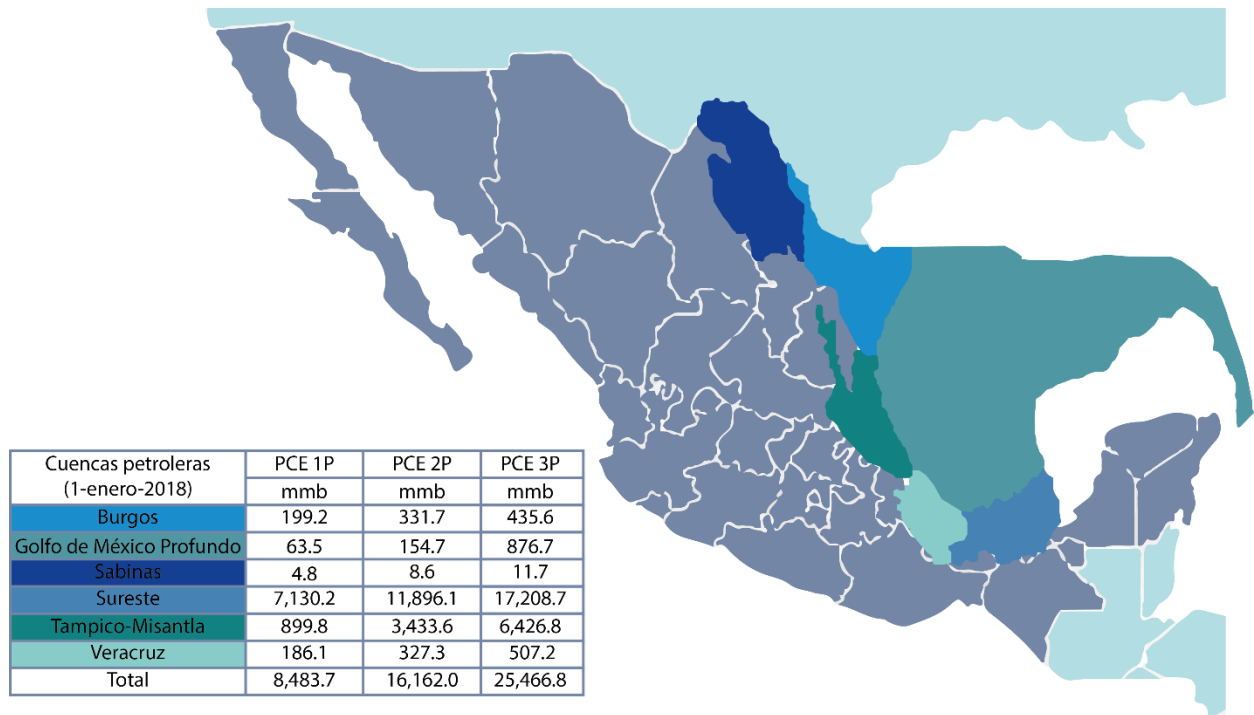


Figura 3 Mapa de distribución de reservas por cuenca (CNH, 2018)

Entre los principales campos con reservas 1P se encuentra el campo Hokchi el cual aporta aproximadamente el 2% de las reservas nacionales totales en esta categoría.

### 5.2.3.¿Dónde está el petróleo?

En México el petróleo se concentra en 6 regiones principales siendo las aguas territoriales las regiones más ricas en crudo. A continuación, se presenta una tabla con el detalle de la distribución del petróleo en suelo mexicano:

Territorio	Miles de barriles al día	Participación
<b>Aguas territoriales</b>	1 589	82%
<b>Tabasco</b>	228	12%
<b>Veracruz</b>	91	5%
<b>Chiapas</b>	19	1%
<b>Puebla</b>	13	0%
<b>Tamaulipas</b>	8	0%
<b>Total</b>	1 948	100%

Tabla 5 Producción de petróleo crudo por entidad federativa en 2017 (PEMEX, 2017).

#### 5.2.4. Tipo de petróleo en México

En México se pueden encontrar cuatro tipos de crudo: Istmo, Maya, Altamira y Olmeca. Cada uno con sus características particulares.

- Istmo:** Este crudo presenta un intervalo de 32 a 33 °API, lo cual lo clasifica como intermedio, y un contenido de azufre equivalente al 1.8% en peso, haciéndolo también de tipo amargo. Este tiene buenos rendimientos en la producción de gasolina y destilados intermedios como pueden ser el diésel y el keroseno utilizado como combustible de aeronaves. Puede ser aprovechado de mejor manera en las refinerías con unidades FCC (Fluid Catalitic Cracker), este proceso rompe los hidrocarburos complejos exponiéndolos a una alta temperatura y baja presión, junto con catalizadores que ayudan a mejorar el rendimiento de las reacciones químicas que se llevan a cabo. Este proceso aumenta la calidad y cantidad de otros productos más ligeros y valiosos, además de que reduce la cantidad de residuos.

- **Maya:** Este presenta °API de entre 21 a 22, haciéndolo un crudo pesado, con un contenido de azufre equivalente al 3.4% en peso, haciéndolo también de tipo amargo. Debido a sus características, este crudo brinda menores rendimientos en la producción de gasolina y diésel. Esto debido a sus °API, al ser un crudo pesado es más complicado obtener productos de este. Para maximizar el valor económico de este, es necesario que su procesamiento se lleve a cabo en refinerías con unidades de alta conversión, donde la fracción pesada se transforma en productos con un mayor valor para pasar a procesos de refinación.
- **Olmecca:** Es el crudo mexicano más ligero, con un intervalo de 38–39 °API y un contenido de azufre de 0.73% a 0.75% en peso, haciéndolo dulce. Debido a sus características, es más fácil la producción de lubricantes y petroquímicos a partir de este crudo. Representa el 20.4% de la producción nacional, además este crudo tiene el mayor precio en el mercado internacional.
- **Altamira:** Tiene una gravedad de 15.5° a 16.5 °API y un contenido de azufre de entre 5.5% a 6.0% en peso. Junto con el crudo Maya, tiene menores rendimientos en la producción de gasolina y diésel en esquemas de refinación simples debido a que es un crudo pesado. Sus características lo hacen adecuado para la producción de asfalto.

### Tipos de crudos mexicanos

	°API	% Azufre (masa)	% Agua y sedimentos (volumen)
<b>Maya</b>	21–22	3.4	0.5
<b>Istmo</b>	32–33	1.8	0.5
<b>Olmecca</b>	38–39	0.73–0.75	0.5
<b>Altamira</b>	15.5–16.5	5.5–6.0	1.0

Tabla 6 Tipos de crudos mexicanos (PEMEX,2015)

### **5.3. Industria petrolera mexicana**

A partir del siglo XX, la industria petrolera ha sido fundamental en México, sobre todo desde la expropiación y la creación de Petróleos Mexicanos (PEMEX) pilar económico de la nación; actualmente la producción de energía en México es una de las actividades más importantes, contribuyendo con un 3% del PIB y además todos los impuestos relacionados al petróleo constituyen un 37% del presupuesto federal y un 56.7% de la inversión pública se destina a proyectos de energía que emplean a más de 250,000 personas (Gibrán y Victor, 2014).

PEMEX es la única empresa en México, y de las pocas en el mundo, que participa en toda la cadena productiva de hidrocarburos: desde la exploración hasta la distribución y comercialización de productos finales. Es la séptima empresa petrolera más importante en el mundo y una de las más rentables antes de impuestos (Gibrán y Victor, 2014).

El petróleo se ha convertido en el motor de la humanidad en el último siglo. La importancia del petróleo ha sido tal como principal fuente de energía y factor determinante para la economía del país, que ha requerido de regulación constante de la industria y sus procesos, con el propósito de garantizar la calidad del producto, la administración de los recursos y el cuidado del medioambiente. Actualmente, con la apertura de la Reforma Energética en 2013, la industria del petróleo y gas ha crecido y se ha modernizado, gracias a la participación de nuevas inversiones privadas de compañías nacionales y transnacionales, que se han sumado a PEMEX para brindarle tecnología y diferentes servicios asociados al sector petrolero, sin privatizar a las empresas públicas dedicadas al mismo.

El sector petrolero está atravesando un tiempo de crisis en los países productores de hidrocarburos, debido a los cambios en los proyectos de extracción y a la oferta desleal en su comercialización, lo cual ha llevado a la caída del precio del crudo. Ante la persistencia de una sobreoferta global del recurso, las nuevas inversiones en la producción del petróleo probablemente continuarán a la baja. De continuar así, esto causaría dificultades en los mercados mundiales que los mantendrían en superávit y con pocas expectativas de aumento en el precio del petróleo.

En este escenario, México tiene ventajas que pueden beneficiarle gracias a sus reservas, sin embargo, el volumen de producción está perdiendo terreno frente a la competencia internacional, fundamentalmente por causas tecnológicas y operativas, debido a que PEMEX no cuenta con la capacidad para refinar el petróleo. PEMEX requiere acelerar su proceso de transformación a través de mayores inversiones para asegurar su rentabilidad en el mediano y largo plazo. La participación de mayores inversiones, trae consigo ascendentes ventajas, como el crecimiento y fortalecimiento de las finanzas nacionales y la apertura para generar empleos para especialistas, al tener la posibilidad de hacer carrera profesional en empresas del Estado como PEMEX, CFE (Comisión Federal de Electricidad) y en la industria privada. El reto para PEMEX es adaptar su estructura de costos a ese escenario de precios bajos, como el resto de las petroleras del mundo, aprovechando las oportunidades que dio la Reforma Energética; entre las cuales, tiene como eje rector la rentabilidad mediante estrategias como el programa de asociaciones o alianzas con empresas privadas, conocidos como “Farm–Outs”, donde PEMEX asegura su inversión a través de contratos. Con este plan de negocios que prioriza la rentabilidad, se espera se eleve la plataforma de producción en un 15% para el 2019. A ello, se suman las grandes petroleras que han ingresado al mercado tras ganar campos de operación, que para 2016 ya reportaban producción de petróleo, gas natural y condensados al Fondo Mexicano del Petróleo (FMP).

Para impulsar la producción de hidrocarburos, Pemex Exploración y Producción ha iniciado el desarrollo de 20 campos nuevos. De estos, 16 son marinos y se ubican en aguas someras del Golfo de México, mientras que 4 campos se encuentran en áreas terrestres de los estados de Veracruz y Tabasco. Para el desarrollo de los campos, Pemex Exploración y Producción tiene contemplado perforar al menos 30 pozos durante 2019, y durante su horizonte de producción se estima desarrollar 116 pozos (72 marinos y 44 terrestres). Algunos de estos campos iniciarán producción hacia finales de 2019.

Además, este año PEMEX ha generado eficiencias en los procesos de contratación de servicios, lo que ha permitido obtener ahorros en los contratos de servicios de obras de infraestructura por 15.6 mil millones de pesos. De esta forma, mediante procesos

competitivos y transparentes podrá realizarse más infraestructura con el mismo presupuesto.

### **5.3.1.Evolución de la industria petrolera mexicana**

La evolución de la industria petrolera en México en relación con las actividades de la exploración y la explotación de los hidrocarburos debe analizarse tomando en consideración, los resultados que se fueron obteniendo en el transcurso del tiempo y, analizando los factores que influyeron en el desarrollo de las actividades realizadas para su consecución.

A setenta años de que fue expropiada la industria petrolera en México, el petróleo continúa siendo una mercancía estratégica en nuestro crecimiento económico y en la relación comercial, financiera y de seguridad nacional; con nuestros vecinos, en particular con Estados Unidos. Esta importancia fue corroborada con el alza de los precios internacionales del petróleo en la década de los setenta en el siglo XX (Smil, 2017).

En 1973, cuando la economía mexicana mostraba marcados signos de encaminarse hacia una aguda crisis, los precios del petróleo registraron un inusitado aumento como consecuencia del embargo petrolero por parte de los países árabes ante las acciones del ejército israelí en la guerra del Yom Kippur contra el ejército egipcio (Kraus, 1983). Aunque la crisis de la economía mexicana finalmente estalló en 1976, la captura de la renta petrolera externa contribuyó a recuperar el crecimiento permitió a los mexicanos esbozar una mejor situación con el potencial acceso a la abundancia. El cuantioso excedente petrolero para México, derivado de precios internacionales del petróleo de 12.80 dólares nominales al final de la administración gubernamental de Luis Echeverría en 1976 y una producción petrolera de 803 mil barriles de crudo por día, indujo al nuevo presidente de México, José López Portillo, a invitar a los mexicanos a prepararse para 'administrar la abundancia' (Chow Pangtay, 2010).

En 1980, cuando el precio del petróleo llegó a un máximo de 37 dólares, la euforia había invadido de frivolidad las decisiones gubernamentales de política económica, descartándose medidas de prevención para cambios súbitos en esa escalada de los



precios del petróleo cuyo detonante había sido la guerra árabe–israelí pero el origen era la reestructuración que se llevaba a cabo en la industria petrolera internacional ante la crisis que observaban las principales economías industrializadas desde principios de los años setenta a consecuencia de su profunda recesión y por la caída en su consumo energético (Colmenares, 2008). Precisamente, en 1982 inicia la fase decreciente del ciclo que había iniciado en 1973 con una larga y drástica declinación que se extendió durante 6 años, llegando a ubicarse el crudo mexicano en 10 dólares en 1998, casi una tercera parte del nivel más alto al que había llegado en 1981. La siguiente fase de alzas dio inicio en 1999 y, con excepción de 2001, se ha mantenido, ubicándose el precio promedio del barril del crudo mexicano por arriba de los 120 dólares, es decir, 12 veces más alto que el precio nominal de una década anterior, lo que implica un precio real superior a 50% al de 1980. En las últimas tres décadas México logró captar una renta extraordinaria con las exportaciones de crudo, aun con los altibajos y la declinación a precios nominales y reales (Wionczek, 1988).

En diciembre del 2013, el gobierno mexicano realizó modificaciones legales que propiciaron nuevas condiciones de mercado en el sector energético, con el objetivo de estimular el crecimiento de la industria petrolera y de la economía nacional. Otros jugadores pueden participar en toda la cadena de valor de la industria y así, competir con Pemex (PEMEX, 2013).

De acuerdo con datos oficiales, en 2011, México produjo 186.9 millones de toneladas equivalentes de petróleo destinadas a la generación de energía. Se estima que 88.69% provinieron del crudo, 6.98% de Fuentes renovables, 3.17% de carbón y el resto de otro tipo de fuentes (Gibrán y Victor, 2014). Si bien la situación energética de México también ha evolucionado con el paso del tiempo, no así el peso del petróleo como materia prima para la generación de energía en nuestro país ya que seguimos teniendo una gran dependencia hacia al petróleo y aunque el crecimiento en el uso de fuentes renovables es destacado no es comparable de ninguna manera con la explotación de crudo. En este sentido, la industria claramente se encuentra en evolución, pero a ritmos moderados.

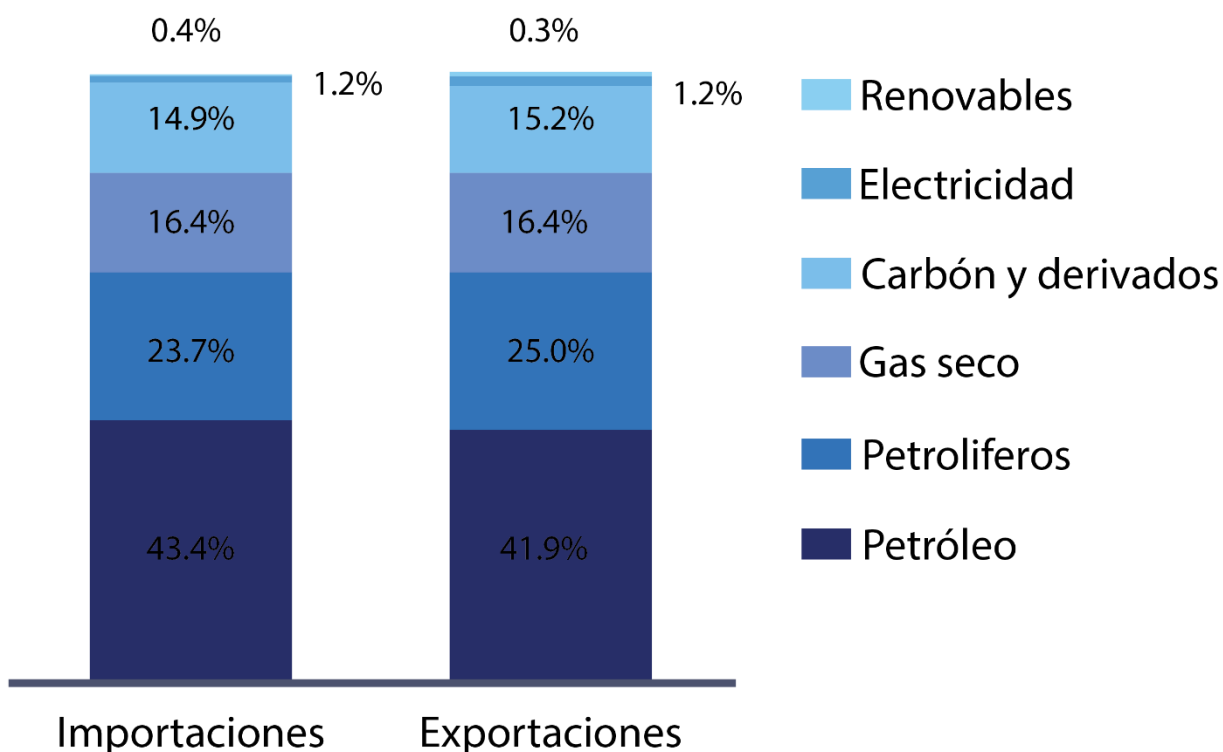
### **5.3.2.Importaciones y exportaciones del petróleo mexicano**

El comercio de petróleo con el exterior representa un 8% del total de las exportaciones del país y genera un 16% de todas las ganancias de comercializar con el exterior (Gibrán y Víctor, 2014), sin embargo, nuestro país ha experimentado una declinación de sus yacimientos petroleros, lo que ha resultado en la reducción de las exportaciones de petróleo y un aumento en el volumen de crudo importado. México mantiene exportaciones de petróleo a Estados Unidos (76.3%), España (13.2%), India (6.0%), Holanda (0.4%), Canadá (1.8%), China (0.8%) y otros países (Secretaría de energía, 2014). Aproximadamente el 43% de la producción de petróleo en México se dirige al mercado de exportación (de estas exportaciones, 78.2% corresponde a petróleo Maya, 12.8% a Istmo y 9.0% a Olmeca), factor que se ha traducido en un elemento estructural necesario para el crecimiento económico. Caso particular es la exportación a Estados Unidos la cual representa el 47.9% de la producción de petróleo mexicano (Secretaría de Energía, 2016).

México ha presentado una declinación constante en sus exportaciones, con una tasa de crecimiento promedio anual de -3.1% entre 2002 y 2012; no obstante que durante 2004 haya presentado su mayor volumen de exportación contabilizando 1 870 miles de barriles al día, el tamaño ocupado por México en el mercado internacional se ha reducido constantemente, registrando en el 2012 pérdida de 6.1% del volumen de exportación con relación a 2011. Aun así, México se ubicó en el decimotercer lugar (2.8%) como mayor exportador de petróleo en el mundo durante 2012.

Por otra parte, se encuentran las importaciones de crudo, las cuales han tomado un papel más relevante en años recientes ya que la producción de crudo de nuestro país no es suficiente para cubrir la demanda nacional; con el fin satisfacer la demanda energética del país se ha recurrido a las importaciones. México se sitúa en el 18° puesto, con una aportación del 1.3% a las importaciones de energéticos (Secretaría de Energía, 2016). Existen pronósticos que señalan que este aumento en las importaciones seguirá creciendo de manera gradual al menos hasta el 2026.

## Participación por energético en las importaciones y exportaciones totales (2015)



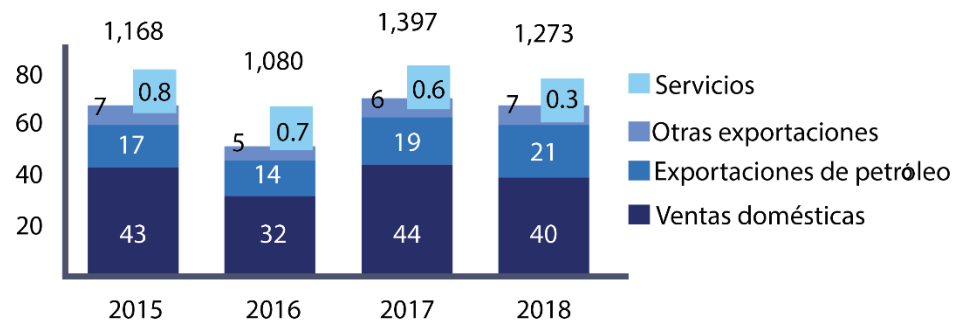
Gráfica 8 Participación de energéticos en las importaciones y exportaciones (Balance nacional de energía, 2016)

### 5.3.3. Costo de la industria Nacional

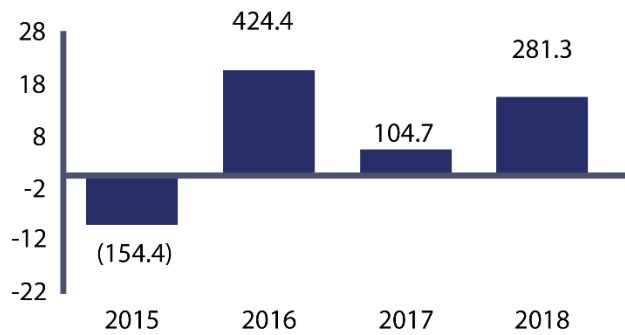
Con la liberación de precios en el mercado doméstico en 2017, se han incrementado las ganancias de Pemex.

PEMEX ha generado un flujo de efectivo sólido y estable, con ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización (EBITDA) que presentan un crecimiento desde 2016.

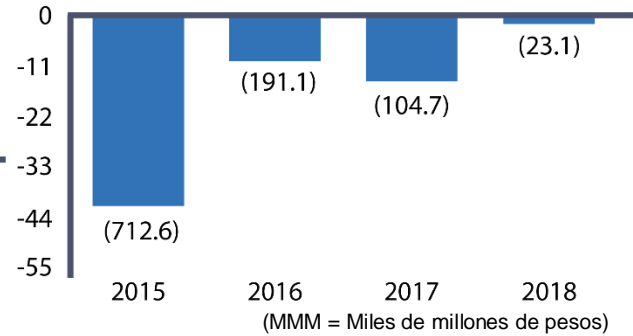
### Ingresos totales (MMM MXN)



### Ingresos Operacionales (MMM MXN)

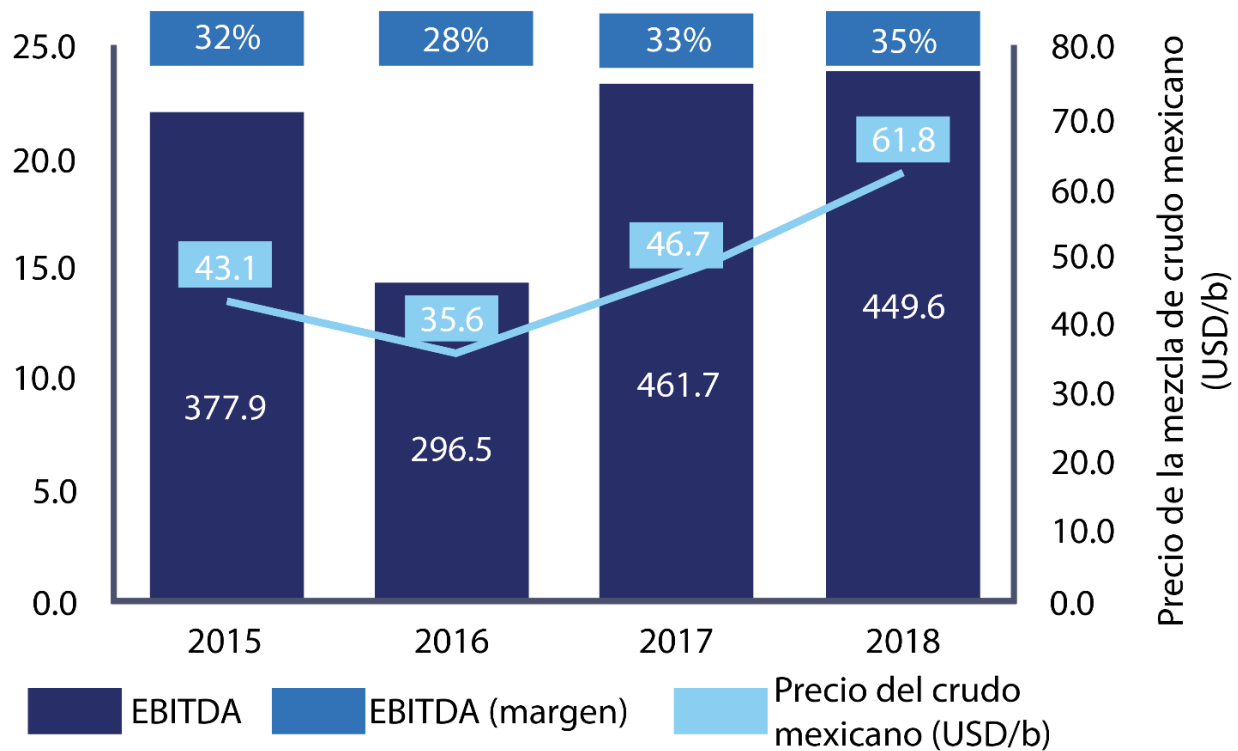


### Ingresos Netos (MMM MXN)



**Gráfica 9 Ingresos totales de PEMEX (PEMEX, 2018)**

## EBITDA (MMM MXN)



(MMM = Miles de millones de pesos)

**Gráfica 10 EBITIDA (PEMEX, 2018)**

### 5.4. Demanda nacional de petróleo

En 2018, de acuerdo con datos internacionales, el consumo de energía en México disminuyó en un 1.3% versus 2017, consumiendo en total 186.9 millones de toneladas equivalentes de petróleo, 2.9 menos que el año anterior (BP, 2019). De esas 186.9 millones de toneladas equivalentes de petróleo consumidas 82.8 es decir un 44%, fueron consumidas únicamente de petróleo.

En 2016, el 43.8% de la producción de petróleo crudo se destinó al consumo interno, es decir, se distribuyó en el Sistema Nacional de Refinación y el 56.2 % de la producción restante, se envió a terminales de exportación.

De un total de 1 391.023 miles de barriles diarios de petróleo crudo equivalente (mdbpce). La participación por sector de consumo se distribuyó de la siguiente manera: 79.5 % se destinó a las necesidades de consumo del sector transporte. 10.7 %

representó el consumo del sector eléctrico. 7.4 % representó la demanda de petrolíferos en el sector industrial. 2.3 % correspondió al sector petrolero.

Sector transporte: en 2016 se requirieron 1 105.7 mbdpce para cubrir las necesidades de consumo, 3.1 % más respecto a 2015.

El 90.8 % se destinó al autotransporte donde el consumo de gasolinas y diésel creció 3.8 % y 1.5 % respectivamente en relación con 2015. Factores como una mayor eficiencia energética vehicular, nuevas regulaciones ambientales, el precio de gasolinas y diésel, así como la venta clandestina de los mismos, contribuyeron en la demanda de estos combustibles en el sector.

El 6.7% al aéreo, donde se requirió 73.8 mbdpce de turbosina. En México, Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) es el organismo encargado de suministrar el combustible a estaciones de servicio localizadas en los aeropuertos nacionales; de acuerdo con sus datos, en 2016, las operaciones por tipo de aviación crecieron 4.6% respecto al año anterior.

El 1.3% se destinó al sector marítimo, este presentó una demanda de diésel de 14.4 mbdpce, 4.8 % menos respecto al 2015, debido al uso cada vez mayor de buques que funcionan con combustibles alternativos como el gas natural. En 2016, la demanda promedio de diésel en el transporte ferroviario se mantuvo en 13.4 mbd, con respecto al 2015 al igual que el transporte de carga y la intensidad energética promedio de este medio de transporte.

Finalmente, el 1.2% se destinó al sector ferroviario. El ferrocarril sigue siendo un medio para transportar bienes de la industria automotriz, cementera, acerera y agrícola. Las toneladas-kilometro transportadas en 2016 en dicho transporte fueron de 83.4 miles de millones. La demanda de petrolíferos en el autotransporte está en gran medida vinculada al comportamiento creciente del parque vehicular a gasolina y diésel.

El sector eléctrico tuvo un consumo de 951.8 mbdpce. El uso de combustibles en el sector eléctrico fue: 69.6 % de gas natural, 12.9 % de combustóleo, carbón, coque de petróleo y diésel con 14.7 %, 1.6 % y 1.2 %, respectivamente.

El mayor consumidor de combustibles en México para la generación de electricidad es la CFE. Entre sus objetivos de reducción de costos, la CFE tiene una estrategia de sustitución de combustibles caros y de altas emisiones por gas natural, que implica un menor precio y es más limpio. El programa de inversión ambiental de la CFE está concentrado en las áreas de modernización de plantas, sustitución de bases para disminuir la contaminación, control de emisiones y construcción de plantas de tratamiento de agua, en lugar de enfocarse en la construcción de nuevas plantas de generación.

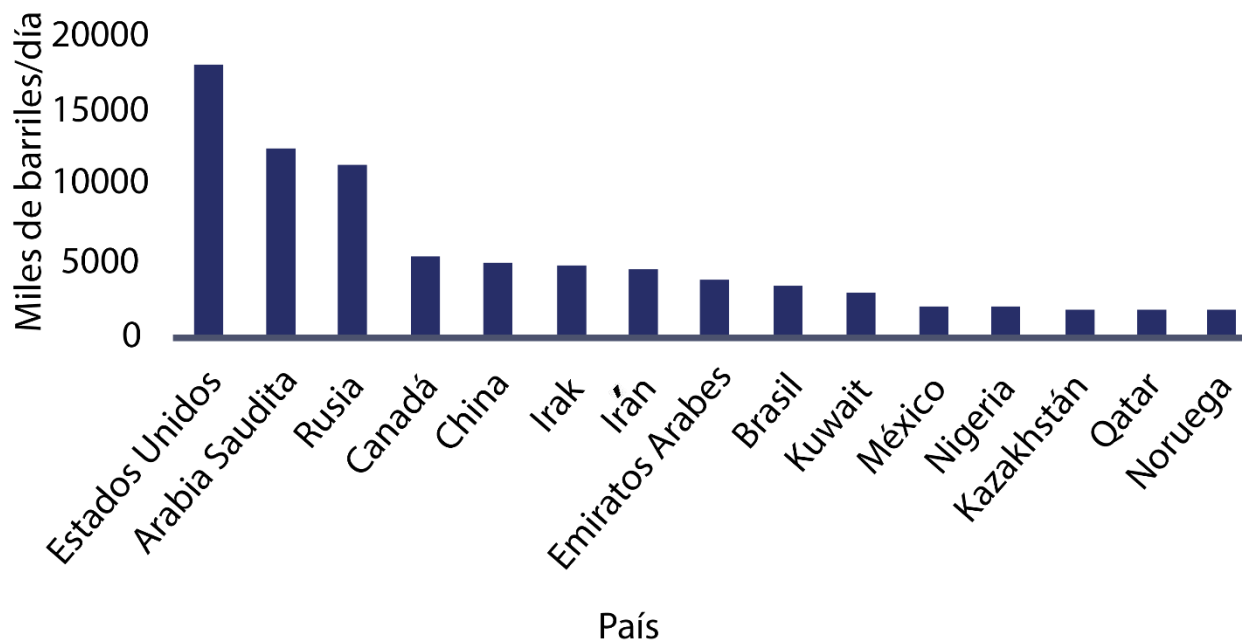
El sector industrial, en el último año, aumentó su demanda de combustibles en un 6.8 %. Del total de combustibles demandados por este sector el consumo de gas natural ha crecido en los últimos diez años en un 43.5 %. El coque de petróleo es el petrolífero de mayor consumo en las ramas industriales intensivas, principalmente en la industria del cemento, la demanda del combustóleo ha disminuido en gran medida debido a la sustitución de este por gas natural.

El sector industrial tiene una alta intensidad energética en sus procesos. Sin embargo, se ha llevado a cabo la sustitución de equipos ineficientes mediante programas de apoyo que contribuyan a un menor consumo de combustibles.

Por último, el consumo de petrolíferos en el sector petrolero se centra en combustóleo y diésel. El combustóleo se utiliza para proyectos de cogeneración, generación de calor y generación de vapor en las plantas de servicios auxiliares en este sector. Por otro lado, el diésel se requiere para servicios de transporte y generación eléctrica de respaldo.

## 5.5. Producción nacional de petróleo

### Producción de petróleo 2018

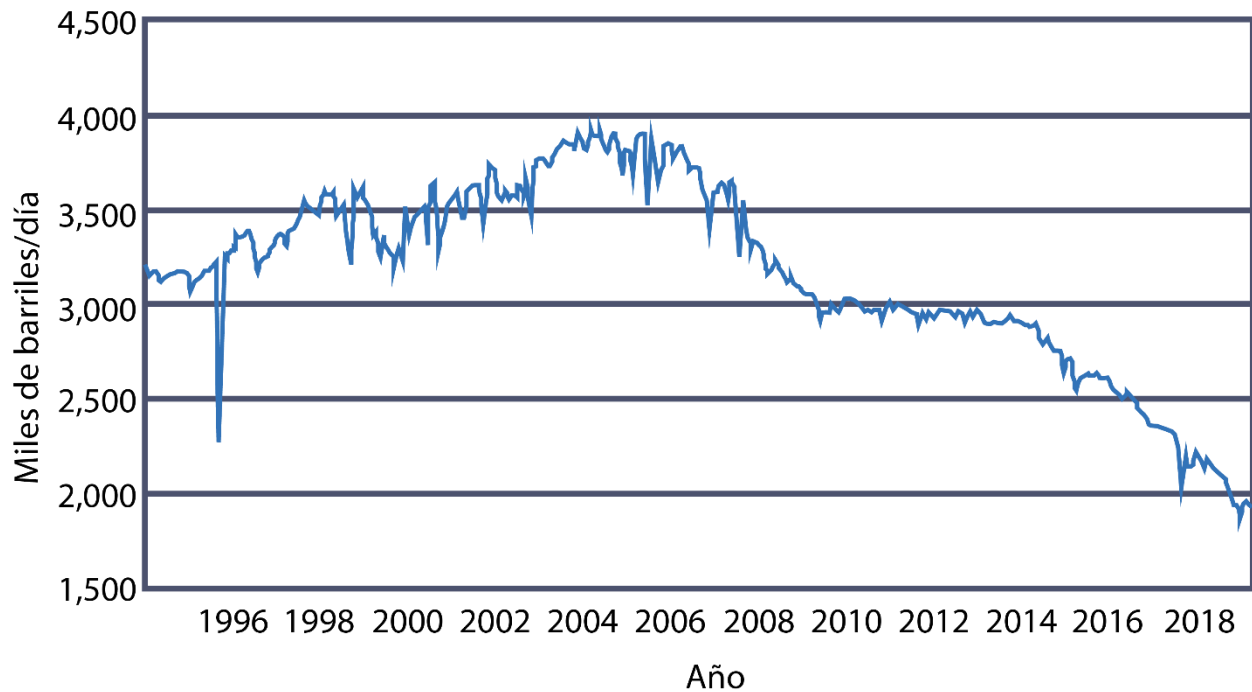


Gráfica 11 Principales productores de petróleo (BP, 2018)

México tiene un papel fundamental en la industria del petróleo mundial. En América, México es el cuarto productor de petróleo más importante, con una producción de 2224 Mb al día, que representa un 2.2% de la producción mundial, superado únicamente por los Estados Unidos de América (13 057 Mb), Canadá (4 831 Mb) y Brasil (2 734 Mb) (BP, 2018); a nivel mundial ocupa la posición número once.



## Producción de petróleo y otros líquidos en México 2018



**Gráfica 12 Producción de petróleo en México (Balance nacional de energía, 2016)**

En 2018, México produjo en promedio 1 812 miles de barriles al día, para sumar 102.3 millones de toneladas de crudo al cierre de año, un decremento del 6.6% comparado con 2017 (BP, 2018). De acuerdo con datos de la Secretaría de Energía, se producen tres tipos de petróleo, donde al menos la mitad corresponde a crudo pesado, alrededor de un 35% al ligero, mientras que el 15% restante se le atribuye al súper ligero (Secretaría de Energía, 2016).

La producción de petróleo mexicana alcanzó su punto más alto en el 2004 donde se produjeron 3 919 miles de barriles por día. Para 2008 la producción había disminuido hasta alcanzar los 3 150 miles de barriles. La producción de crudo mexicano ha disminuido constantemente desde 2008 (Buchanan, 2018). Desde entonces, la industria de producción de petróleo mexicano ha experimentado una contracción constante y significativa, este decremento se debe principalmente a un declive natural de producción en los yacimientos mexicanos más importantes, siendo Cantarell el más representativo.

## 5.6. El futuro del petróleo en México

Cómo se ha visto a lo largo el presente trabajo, el suministro de petróleo tiene un límite. Si bien es cierto que existen posturas que defienden la idea de que, considerando los avances tecnológicos, todo está en orden y se tienen recursos suficientes para satisfacer las necesidades actuales y futuras; también existen aquellos que defienden que dadas las condiciones de consumo actuales y las reservas disponibles, una crisis en lo que hoy es una de las industrias más importantes a nivel mundial, la del petróleo, es inminente. En los siguientes párrafos se busca esbozar la situación específica a futuro de México en cuanto a la industria del petróleo concierne.

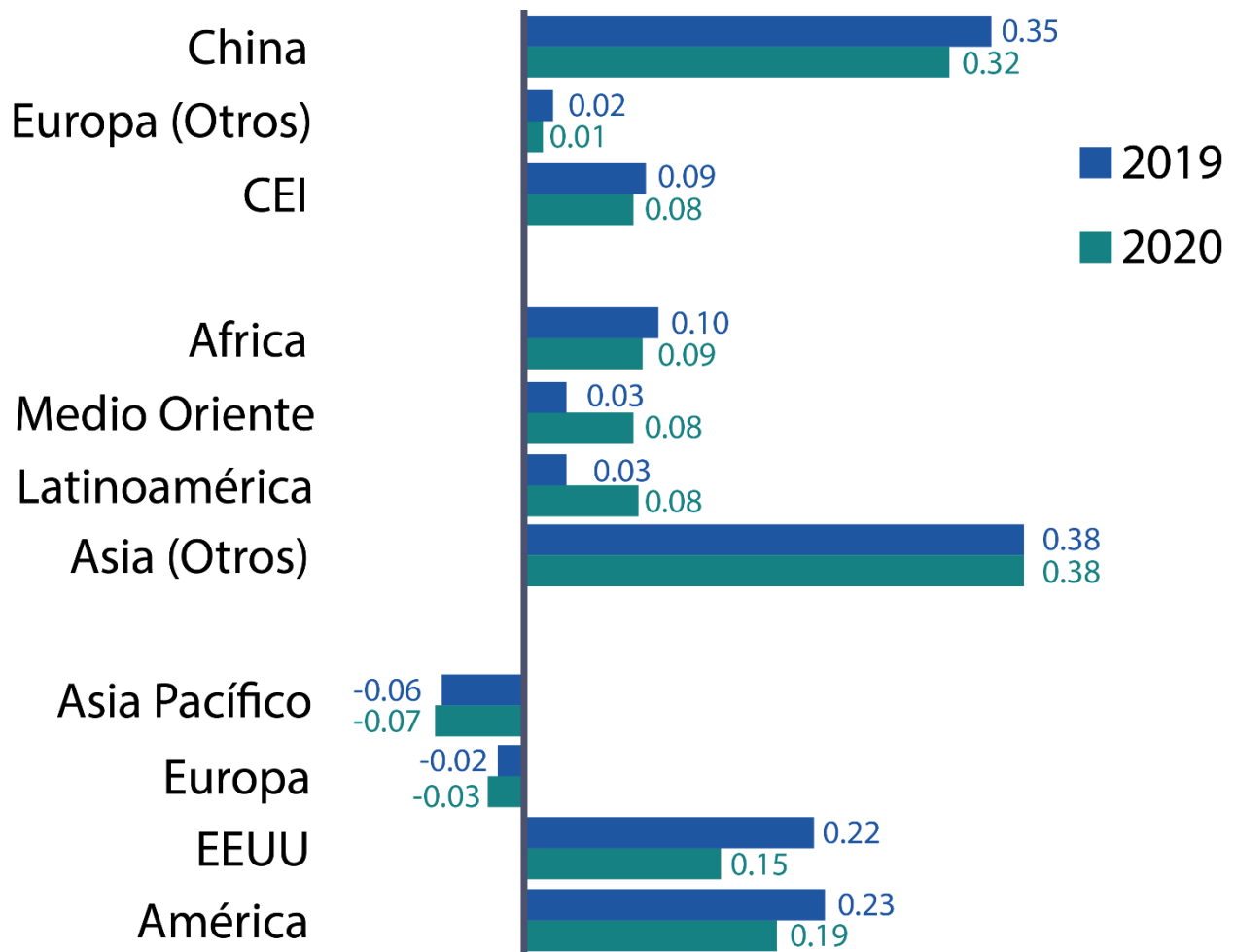
La demanda de petróleo en México se redujo un 7.8% en mayo 2019 versus el mismo mes en 2018 (OPEC, 2019). Este decremento se presentó en prácticamente todos los sectores categorías e industrias que demandan petróleo, siendo el diésel el que representa la mayor disminución. Lo primordial que hay que señalar es que se espera que esta tendencia a la baja en la demanda de petróleo en México se invierta, es decir se empiecen a demandar volúmenes mayores, año tras año, invirtiendo la tendencia, esto se debe a que las expectativas de crecimiento económico y el desarrollo de sectores de transporte y combustibles son positivas para años próximos.

En contraste, la producción de petróleo mexicano se espera se siga contrayendo en años futuros. De acuerdo con datos de la OPEC, en mayo de este año se extrajeron en promedio 0.01 millones de barriles menos por día promediando una extracción de 1.91 millones de barriles por día, es decir 0.21 miles de barriles diarios menos que el promedio de 2018.

Lo alarmante, es que si bien es cierto que PEMEX ha anunciado recientemente que se planea construir al menos 20 nuevos campos de perforación las prospecciones no van a la alta. Se espera que al cierre de 2019 se hayan producido en promedio 1.93 mb/d (lo que significa una disminución anual de 0.15 miles de barriles diarios comparado con 2018). La situación para 2020 es la misma, con un decremento de 0.15 miles de barriles diarios por día lo que significa un promedio de 1.78 millones de barriles producidos al día; esto se atribuye principalmente a la disminución de producción en Cantarell, Abkatún–Pol–Chuc y Tsimin–Xux (OPEC, 2019).

## 6. Resultados

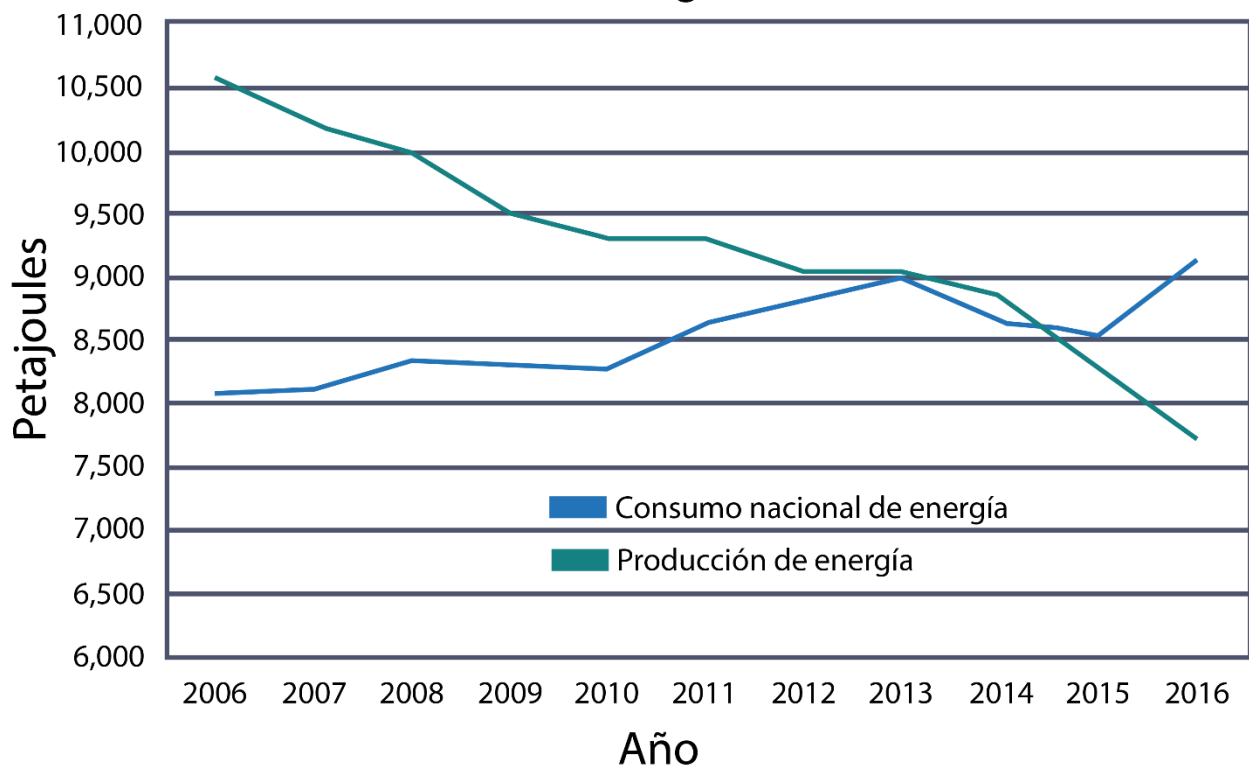
De acuerdo con el reporte de perspectiva del mercado del petróleo realizado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo, para 2019 se espera que la demanda de petróleo tenga un crecimiento de 1.14 millones de barriles por día lo que significa una demanda mundial total de 99.87 millones de barriles diarios. Para 2020, se espera que el crecimiento se mantenga en 1.14 mb/d, crecimiento que indica que la demanda global superará los 100 mb/d (OPEC, 2019). El transporte es el sector que se identifica como el motor clave detrás del crecimiento en la demanda de petróleo, principalmente por su uso en los combustibles de motores.



Gráfica 13 Perspectiva de crecimiento en la demanda mundial de petróleo en millones de barriles por día (OPEC, 2019).

Por otra parte, los pronósticos de producción de petróleo para 2019 son a la baja. Se estima que la producción de petróleo de los países no miembros de la OPEC disminuya 2.05 millones de barriles por día lo que resulta en una producción total de 64.43 mb/d. Esta disminución en la producción se debe principalmente a ajustes voluntarios de producción por parte de los países productores de petróleo participantes de la Declaración de Cooperación, así como a las revisiones a la baja para Brasil y Noruega (OPEC, 2019). Sin embargo, en 2020 se visualiza un crecimiento de 2.4 mb/d impulsado principalmente por US, Brasil, Noruega y Canadá; países como México, Colombia, Reino Unido Indonesia y Tailandia tienen prospecciones a la baja. (OPEC, 2019).

### Evolución de la producción y consumo nacional de energía



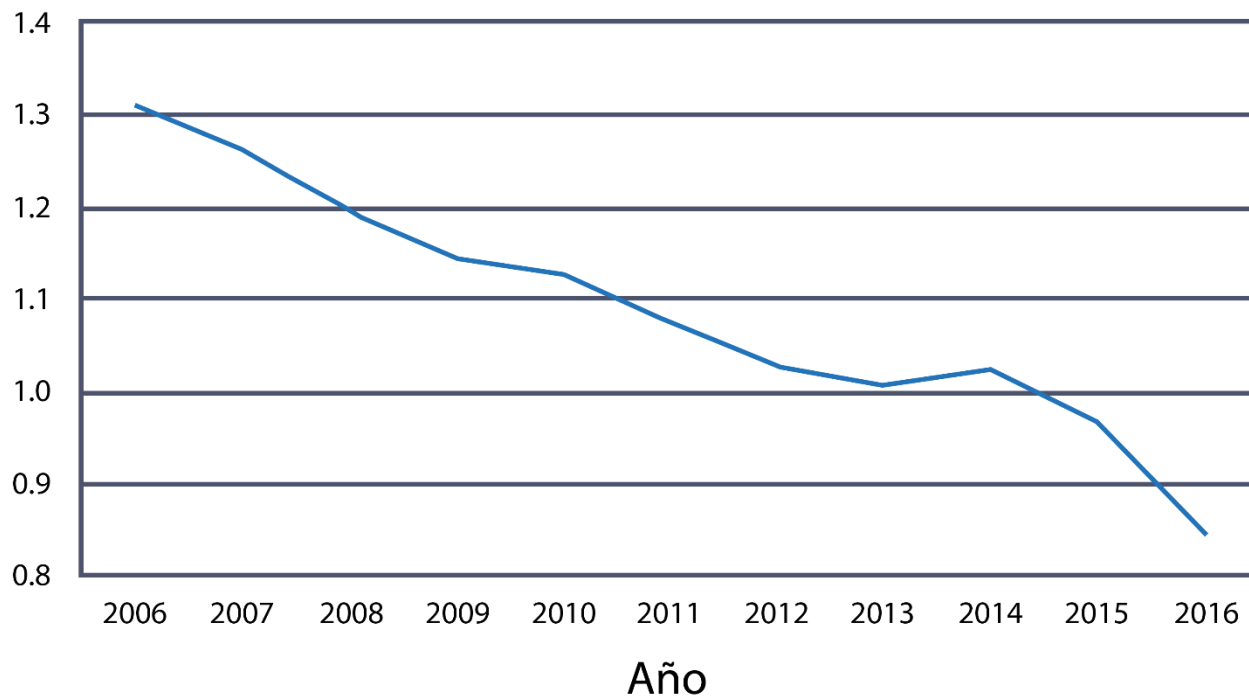
Gráfica 14 Evolución de producción y consumo nacional de energía (SENER, 2016)

Con relación a la situación de México, nuestra nación comparte las tendencias mundiales. Según lo revisado en apartados anteriores, nuestra producción no solo ha disminuido y nuestra demanda de crudo ha aumentado. Además, se estima que la tendencia se mantenga de esta forma. ¿Por qué este comportamiento sirve de argumento para demostrar la eminente crisis a la que se estaría enfrentando la industria del petróleo al no poderse sostener con estos ritmos de explotación? Porque el petróleo es un recurso no renovable, del cual tenemos un suministro finito con un límite de explotación al cual parece nos estamos acercando.

De hecho, actualmente somos incapaces de cubrir nuestra propia demanda con recursos propios. Existe un indicador nacional de nombre “Independencia Energética” que la Secretaría de Energía describe de la siguiente manera: “la independencia energética es el índice utilizado a nivel internacional para medir, de forma general, el grado en que un país puede cubrir su consumo de energía derivado de su producción; si es mayor a uno, el país se considera independiente de energía”. A finales del 2016, México presentó un índice de independencia energética equivalente a 0.84. Esto significa que hubo un déficit de energía igual a 15.6%, para cubrir las necesidades y satisfacer la demanda se tuvo que recurrir a las importaciones.

En la siguiente gráfica se puede apreciar cómo año tras año desde hace 10 años el índice de independencia energética ha ido a la baja. Si consideramos que nuestro consumo energético se satisface casi en su totalidad por petróleo podemos observar que cada vez tenemos menos capacidad de cubrir nuestro consumo con recursos propios.

## Índice de independencia energética



Gráfica 15 Índice de independencia energética (Balance nacional de energía, 2016)

## 7. Conclusiones y recomendaciones

La razón que considera reservas determinadas en cierto tiempo y un ritmo de producción se conoce como *R/P ratio*, el cual muestra en años el tiempo que un recurso no renovable puede ser explotado. Con los datos a 2018 se podría extraer petróleo por 50 años más a nivel mundial, donde las regiones de Centroamérica y Sudamérica tienen el *R/P ratio* más alto con 136 años y Europa el más bajo con tan solo 11 años. Asumiendo que las tendencias continúen y los pronósticos se cumplan, con las reservas al 2018 y mismas tendencias de producción y demanda de petróleo resulta evidente que la industria del petróleo no es sostenible: México tiene un *RP ratio* de tan solo 10.2 años.

Sin embargo, también es importante señalar que hay varios factores asociados con la demanda y producción de petróleo que pueden afectar los pronósticos. Desarrollos macroeconómicos no previstos, el crecimiento en el uso de fuentes de energía alterna,

iniciativas globales pro-energías verdes, la mejora en la eficiencia de combustibles, cierre o retrasos de los mega proyectos mundiales, tensiones geopolíticas, fluctuaciones en el precio de petróleo entre otros, son piezas clave que pueden llegar a influir y cambiar las tendencias señaladas.

El mundo se enfrenta a un gran reto: bajar su dependencia hacia el petróleo como fuente de energía que va de la mano con una disminución en las emisiones de carbono. Este reto se vuelve más complejo cuando la demanda de energía aumenta año con año y las fuentes alternas, sobre todo en países en vías de desarrollo –los cuáles, en conjunto, son los mayores contribuyentes al aumento en la demanda de energía– no cuentan con la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades de demanda y disminuir las emisiones de carbono simultáneamente.

Este problema se intensifica en un país como México, que –con base en los datos revisados a través de este texto– depende tanto del petróleo. Es entonces donde debemos reconocer que México es rico en fuentes de energía renovables como la solar donde México es uno de los tres mejores países para invertir en celdas fotovoltaicas tan solo detrás de China y Singapur. La razón es nuestra posición geográfica privilegiada; eólica, biomasa, geotérmica, de la cual México es el cuarto consumidor más grande a nivel mundial (Gibrán & Víctor, 2014); e hidroeléctrica, (esta última es de la cual se tiene la mayor infraestructura en el país; sin embargo ser rico no es ni ha sido suficiente, se debe encontrar la manera de explotar todo el potencial que estas fuentes alternativas de energía representan para nuestro país en temas de generación energética.

Sin duda hoy en día vivimos en un mundo mucho más consciente de su entorno, la sociedad está tomando paulatinamente decisiones en las que ya se toma en cuenta el medio ambiente, sin embargo, al revisar detalladamente la situación actual en cuanto al consumo de energía que como se revisó en el texto presente ha aumentado significativamente año con año un 2.8% en 2018, crecimiento no visto desde 2010 (BP,2019), aunado a un aumento en las emisiones de carbón se hace evidente la urgente necesidad de migrar a energías no solo con bajas emisiones de carbón y de fuentes renovables si no a una mezcla de fuentes de energía sostenible; pese a tener

un crecimiento de doble dígito no podemos esperar que el mundo transite drásticamente a energías renovables ya que estas no cubren la creciente demanda de energía aún. Sin embargo, el uso de estas combinado con el uso de diferentes tecnologías y combustibles sí nos pueden ayudar a explotar nuestro recurso no renovable más importante, el petróleo, de una manera mucho más sostenible.



## 8. Bibliografía

Adelman, M. A. (1972). The world petroleum market. Recuperado en 27 de septiembre de 2019 de <https://trid.trb.org/view/7983>

BP. (2018). BP Statistical Review of World Energy. Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>

BP. (2019). BP Statistical Review of World Energy.

Brian Horsfield, J. R. (1994). Diagenesis, Catagenesis, and Metagenesis of Organic Matter: Chapter 10: Part III. Processes, 77, 189–199. Obtenido de <http://archives.datapages.com/data/specpubs/methodo2/data/a077/a077/0001/0150/0189.htm>

Buchanan, R. (2018). Mexico President-Elect's Vision for Pemex A Reality Or Fantasy? Natural Gas Intelligence. Obtenido de <https://www.naturalgasintel.com/articles/116010-mexico-president-elects-vision-for-pemex-a-reality-or-fantasy>

Chow Pangtay, S. (2010). Petroquímica y sociedad. FCE-Fondo de Cultura Económica. Obtenido de <https://latam.casadellibro.com/libro-petroquimica-y-sociedad/9789681666101/2558451>

Colmenares, Francisco. (2008). Petróleo y crecimiento económico en México 1938-2006. *Economía UNAM*, 5(15), 53-65. Recuperado en 27 de septiembre de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-952X2008000300004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2008000300004&lng=es&tlng=es).

Comisión Nacional de Hidrocarburos (2018). Reservas de hidrocarburos en México conceptos fundamentales y análisis 2018. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435679/20190207.\\_CNH-\\_Reservas-2018.\\_vf.\\_V7.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435679/20190207._CNH-_Reservas-2018._vf._V7.pdf)

Cook, B. I., Anchukaitis, K. J., Touchan, R., Meko, D. M., & Cook, E. R. (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. *Journal*

of Geophysical Research: Atmospheres, 121(5), 2060–2074.  
<https://doi.org/10.1002/2015JD023929>

Coyne, D. (2018). World–Oil 2018-2050.

De la Cruz Amador, E. G. (2016). Análisis de las propiedades de calidad de un crudo. Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65004/Tesina\\_Analisis de las Propiedades de Calidad de un Crudo\\_11Ago2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65004/Tesina_Analisis_de_las_Propiedades_de_Calidad_de_un_Crudo_11Ago2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Denekas, M. O., Carlson, F. T., Moore, J. W., & Dodd, C. G. (1951). Materials Adsorbed at Crude Petroleum-Water Interfaces. Isolation and Analysis of Normal Paraffins of High Molecular Weight. *Industrial & Engineering Chemistry*, 43(5), 1165–1169.  
<https://doi.org/10.1021/ie50497a048>

Diccionario de Términos de Refinación. (2007). Refinación. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6977/Refinacion\\_Web.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6977/Refinacion_Web.pdf)

Gibrán, S. A. N., & Victor, H. C. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140–153.

Golas, P. J., & Needham, J. (1999). *Science and Civilisation in China*. Cambridge University Press. Obtenido de [https://monoskop.org/images/7/70/Needham\\_Joseph\\_Science\\_and\\_Civilisation\\_in\\_China\\_Vol\\_4-1\\_Physics\\_and\\_Physical\\_Technology\\_Physics.pdf](https://monoskop.org/images/7/70/Needham_Joseph_Science_and_Civilisation_in_China_Vol_4-1_Physics_and_Physical_Technology_Physics.pdf)

Gore, P. J. W. (2018). Oil and gas origins. In *Salem Press Encyclopedia of Science*. Obtenido de <http://eds.b.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/detail/detail?vid=3&sid=857c7e5b-74ef-4715-92b6-bce105940c5c%40sdc-v-sessmgr03&bdata=JmxhbmMc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3D%3D#AN=88806532&db=ers>

Hallock, J. L., Wu, W., Hall, C. A. S., & Jefferson, M. (2014). Forecasting the limits to the availability and diversity of global conventional oil supply: Validation. *Energy*, 64,

130–153. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.075>

Herzog, J. (1940). La cuestión del petróleo en México. *El Trimestre Económico*, 7(25(1)), 1-74. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/20854361>

Huitrón Quintero, B. (2013). Evolución del proceso de hidrodesulfuración por el manejo de tipo de crudo. Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de [https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis\\_huitron\\_quintero.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis_huitron_quintero.pdf)

IMP, I. M. del P. (2010). *Manual de Laboratorios 2009*. Ciudad de México. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-ph.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). ¿Cuánto aporta el Petróleo a la economía? Cuéntame de México. Recuperado 26 septiembre, 2019, de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/petroleo/pib.aspx> Ivanhoe, L. . (1995). Future world oil supplies – There is a finite limit. *World Oil*, 77–88. Obtenido de <http://www.oilcrash.com/articles/future.htm>

Kozlov, A. S. (1963). Migration processes of gas and oil, their intensity and directionality. *World Petroleum Congress*. Obtenido de <https://www.onepetro.org/conference-paper/WPC-10030>

Kraus, R. (1983). PETROLEO Y GAS NATURAL. In *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/78.pdf>

Lijmbach, W. M. (1975). On the Origin of Petroleum. Obtenido de <https://www.onepetro.org/conference-paper/WPC-16134>

Ludwig, F. J. (1965). Analysis of Microcrystalline Waxes by Gas-Liquid Chromatography. *Analytical Chemistry*, 37(13), 1732–1737. <https://doi.org/10.1021/ac60232a025>

Ivanhoe, L. F. (1986). Potential of world's significant oil provinces. *Oil and Gas Journal*,

164–168. Obtenido de <http://www.tombender.org/societyworthlivingforarticles/IVANHOE.pdf>

Iznar, A. (2.001). ISE (2.001b). Instituto Superior de la Energía. Curso sobre tecnología del Petróleo y Gas. Módulo 7 : “Especialidades”. “Las Parafinas”.

Martinelli, G. (n.d.). PETROLEUM GEOCHEMISTRY. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/72e0/a8e5711983c77462db15dc7d004e3122bf0c.pdf>

Meléndez Hevia, Fernando. (1970). Algunos aspectos del origen del petróleo. COL-PA. Publicaciones de Departamento de Paleontología, ISSN 0210-7236, No 17, 1970, Págs. 5-6, (17), 5–6. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=899745>

Meléndez Hevia, F. (1982). El origen del petróleo. COL-PA. Publicaciones de Departamento de Paleontología, ISSN 0210-7236, No 37, 1982, Págs. 61-66, (37), 61–66. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=56679>

OPEC. (2019). Monthly Oil Market Report: May, (July 2019).

Owen, N. A., Inderwildi, O. R., & King, D. A. (2010). The status of conventional world oil reserves—Hype or cause for concern? *Energy Policy*, 38(8), 4743–4749. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.026>

Patricia, A., & Romero, S. (n.d.). CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PETRÓLEO. Obtenido de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Petroleo\\_32575.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Petroleo_32575.pdf)

PEMEX. (2017). Anuario estadístico 2017.

PEMEX, Principales Elementos del Plan de Negocios de Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios, 2013-2027. Disponible en <[www.pemex.com](http://www.pemex.com)>

Petroleum. (2018). In Salem Press Encyclopedia of Science (p. 2). Obtenido de <http://eds.b.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/detail/detail?vid=14&sid=8bb6f667-94cf-4ac5-b004-c36a8fe5799f%40sdc-v->

sessmgr04&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3D%3D#db=ers&AN=110642485

Plummer Minniear, M. (2000). Forecasting the Permanent Decline in Global Petroleum Production. *Journal of Geoscience Education*, 48, 130–138. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/1c07/2504ba0ff1a0b13d857a06ea516f140eff3b.pdf>

Posthuma, J. (1977). The composition of petroleum. *Petroleum Hydrocarbons in the Marine Environment: Proceedings from ICES*, 7–16. Obtenido de <http://www.vliz.be/en/imis?module=ref&refid=137231&printversion=1&dropIMIStitle=1>

Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española* (22.a ed.). Consultado en <http://www.rae.es/rae.html>

Reynolds, J. G. (1998). *Petroleum Chemistry and Refining*. Washington, DC.: Speight, J.G. ed. Taylor & Francis Publishers. Obtenido de <http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e6-186-01.pdf>

Secretaría de Energía. (2014). *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015-2029*. [https://doi.org/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44327/Prospectiva\\_Petroleo\\_Crudo\\_y\\_Petroliferos.pdf](https://doi.org/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44327/Prospectiva_Petroleo_Crudo_y_Petroliferos.pdf)

Secretaría de Energía. (2016). *Balance Nacional de Energía*.

Securities and Exchange Commission. (2009). *Summary Reserve Report*. Obtenido de <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1368802/000119312510042938/dex991.htm>

Simanzhenkov, V., & Idem, R. (2003). *Crude oil chemistry*. Marcel Dekker.

Smil, V. (2017). *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. Obtenido de <https://ourworldindata.org/grapher/global-fossil-fuel-consumption>

Speight, J. G. (1998). *Petroleum chemistry and refining*. Taylor & Francis. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qaMXFpEflbwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=%22definition+of+petroleum%22&ots=tS7mcRI4XV&sig=HsH2ZXgEfcddKI1aC7wNuWUJUw8#v=onepage&q=%22definition%22&f=false>

Speight, J. G. (2014). The chemistry and technology of petroleum. CRC Press, Taylor and Francis.

Tissot, B. P., & Welte, D. H. (1978a). Production and Accumulation of Organic Matter The Organic Carbon Cycle. In Petroleum Formation and Occurrence (pp. 3–13). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-96446-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-96446-6_1)

Tissot, B. P., & Welte, D. H. (Dietrich H. . (1978b). Petroleum Formation and Occurrence : a New Approach to Oil and Gas Exploration. Springer Berlin Heidelberg.

U.S. Energy Information Administration. (2008). International Energy Outlook 2008. Obtenido de [www.eia.gov/ieo](http://www.eia.gov/ieo)

U.S. Energy Information Administration. (2017). International Energy Outlook 2017. Obtenido de [www.eia.gov/ieo](http://www.eia.gov/ieo)

V. Botello, A. (2005). Características, Composición y Propiedades Fisicoquímicas del Petróleo. Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias (2da Edició). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2567.9206>

V.B. Porfir'ev. (1974). Inorganic Origin of Petroleum. AAPG Bulletin, 58(1), 3–33. Obtenido de <http://archives.datapages.com/data/bulletns/1974-76/data/pg/0058/0001/0000/0003.htm?doi=10.1306%2F83D9136C-16C7-11D7-8645000102C1865D>

Wionczek, Miguel, “Posibilidades y Limitaciones de la Planeación Energética en México”, Colegio de México, 1ª Edición, México, 1988.