

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD TICOMÁN



**“Análisis de la producción de petróleo en México:
el caso de Cantarell”**

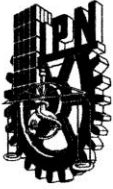
TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOCIENCIA Y ADMINISTRACIÓN DE LOS
RECURSOS NATURALES E HIDROCARBUROS**

**PRESENTA:
GABRIEL BALTIERRA JASSO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. DANIEL ROMO
CODIRECTOR DE TESIS: DR. ARTURO ORTÍZ UBILLA**

MÉXICO, D.F. ENERO 2013



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 13:00 horas del día 15 del mes de Enero del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIA. U. Ticomán para examinar la tesis titulada:
"Análisis de la producción de petróleo: El caso de Cantarell "

Presentada por el alumno:

| | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| <u>Baltierra</u> | <u>Jasso</u> | <u>Gabriel</u> | | | | | | | |
| Apellido paterno | Apellido materno | Nombre(s) | | | | | | | |
| Con registro: <table border="1"><tr><td>B</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>3</td></tr></table> | | | B | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3 |
| B | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3 | | | |


aspirante de:

MAESTRÍA EN GEOCIENCIAS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis



Dr. Daniel Romo Rico



Dr. Arturo Ortiz Ubilla



Dr. Cayetano Miguel García Reyes

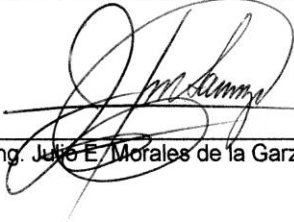


M. en C. Rodrigo Mondragón Guzmán



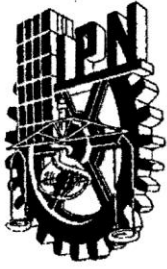
M. en C. Leobardo Salazar Peña

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



Ing. Julio E. Morales de la Garza





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 14 del mes de Enero del año 2013, el (la) que suscribe Gabriel Baltierra Jasso alumno(a) del Programa de Maestría en Geociencias y Administración de Recursos Naturales, con número de registro A090737, adscrito(a) a ESIA Unidad Ticomán, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dr. Daniel Romo Rico (Director) y Dr. Arturo Ortíz Ubilla (Codirector) y cede los derechos del trabajo titulado Análisis de la producción de petróleo en México: el caso de Cantarell, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones gbaltierra4@yahoo.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Gabriel Baltierra Jasso

Nombre y firma del alumno(a)

Agradecimientos

A través de los años he lidiado con muchas situaciones de todo tipo, algunas han sido lecciones de vida aprendidas de buena forma y otras como golpes que me recuerdan que nos caemos para volvernos a levantar.

Agradezco a mis padres por todo el apoyo que me han dado desde las primeras palpitaciones que tuvo mi corazón hasta la fecha en la que veo hacia atrás y las huellas que dejo en mi paso son gracias a sus enseñanzas.

Mi hermana me mostró desde pequeña lo que representan las ganas de vivir desde antes que naciera, y me dio la lección de todo lo que significa salir adelante en todo momento logrando las metas y sueños que uno se propone.

A mi esposa, has creído en mí desde el día en que te conocí y me has apoyado incondicionalmente en las buenas y en las malas, te amo y nunca podre acabar de agradecerte que me haces mejor hombre cuando estoy a tu lado.

A mis abuelos que aunque no están hoy con nosotros; sus anécdotas, cuentos y experiencias viven en todos los que los escuchamos alguna vez, y que gracias a sus palabras mientras los tuve a mi lado me pude dar cuenta de lo afortunado que fui al tenerlos.

A mis amigos que a pesar de los años y la distancia seguimos hablando como si no pasara el tiempo, esas personas que pasaron de ser simples amigos a mis hermanos para toda la vida.

A mis profesores de la ESIA Ticomán por la sabiduría compartida a través de estos años en el IPN. Sobre todo al Dr. Daniel Romo Rico, las clases y los trabajos más difíciles, así como las lecturas más largas de la Maestría me brindaron los conocimientos necesarios para poder superarme como alumno, y encontrar en un profesor a un gran amigo.

Índice

| | Pag. |
|--|------|
| Resumen | I |
| Abstract | III |
| Introducción | IV |
| Capítulo 1: Evolución histórica del Petróleo a nivel mundial y en México | 1 |
| 1.1 Entorno Mundial del petróleo | 1 |
| 1.2 Producción Mundial de petróleo | 2 |
| 1.3 Reservas Mundiales de petróleo | 5 |
| 1.4 OPEP | 8 |
| 1.5 Demanda de petróleo | 12 |
| 1.6 Los retos actuales de la industria petrolera mundial | 14 |
| 1.6.1 Campos Maduros | 14 |
| 1.6.2 Aguas Profundas | 15 |
| 1.6.3 Crudos no convencionales | 17 |
| 1.7 El petróleo en México | 19 |
| 1.8 Reservas de petróleo en México | 22 |
| Capítulo 2: Historia del desarrollo de Cantarell | 24 |
| 2.1 Evolución Histórica de Cantarell de 1979 a 1990 | 24 |
| 2.2 Evolución Histórica de Cantarell de 1990 a 2000 | 33 |
| 2.3 Evolución Histórica de Cantarell de 2001 a 2009 | 50 |
| Capítulo 3: Características Generales del Campo Cantarell | 54 |
| 3.1 Volúmenes de producción de Cantarell | 55 |

| | |
|---|-----|
| 3.2 Ubicación geográfica | 60 |
| 3.3 Estructura geológica local de Cantarell | 62 |
| 3.4 Campos que conforman Cantarell | 63 |
| 3.4.1 Akal | 65 |
| 3.4.2 Nohoch | 65 |
| 3.4.3 Chac | 66 |
| 3.4.4 Kutz | 66 |
| 3.5 Estratigrafía de Cantarell | 67 |
| 3.6 Tectónica de Cantarell | 69 |
| 3.7 Geología Petrolera de Cantarell | 70 |
| 3.8 Volúmenes originales de Cantarell | 71 |
| 3.9 Tipos de reservas en Cantarell | 72 |
| Capítulo 4: El desempeño productivo de Cantarell | 74 |
| 4.1 Principales porcentajes de producción de Cantarell, México y el mundo | 74 |
| 4.2 Precios de la Mezcla Mexicana | 76 |
| 4.3 Importancia estratégica de Cantarell en México | 80 |
| 4.4 Importancia estratégica del gas natural de Cantarell | 87 |
| 4.5 Producción de crudo en Cantarell por pozo | 91 |
| 4.6 Ingresos generados por Cantarell | 94 |
| 4.7 Inversión asignada en el 2012 por Activo | 97 |
| 4.8 Inversión en Cantarell | 98 |
| 4.8.1 Inversión Asignada en el 2012 en Cantarell por actividad | 103 |
| 4.9 Aspectos importantes de la inversión | 104 |
| 4.10 Principales Inversiones | 104 |
| 4.10.1 Planta de Nitrógeno | 105 |
| 4.10.2 Reducción de venteo y quema de gas | 108 |

| | |
|---|-----|
| 4.11 Problemas en Cantarell | 109 |
| 4.12 El papel de Cantarell en la economía de México | 113 |
| Discusión de Resultados | 115 |
| Conclusiones | 123 |
| Bibliografía | 126 |
| Direcciones de Internet | 132 |
| Índice de Tablas | 134 |
| Índice de Figuras | 135 |
| Glosario | 137 |

Resumen

El aumento en la producción de petróleo es un tema de discusión a nivel nacional, en gran parte debido a que se observó su descenso desde el año 2004. El yacimiento Cantarell, el cual inició producción en 1979 y ha sido la principal fuente de producción del crudo en el país y el origen de este descenso, y una de las piezas fundamentales que explica el desempeño de la industria petrolera nacional desde inicios de los noventa por el volumen de ingresos generados.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es realizar un análisis del yacimiento Cantarell, desde el punto de vista histórico, tecnológico, inversiones, infraestructura y económico, para poder dimensionar su importancia en la economía del país y su rol dentro de la política energética nacional, así como sus perspectivas.

En general, se concluye que la estrategia de apoyar las operaciones en Cantarell dio como resultado el limitar el crecimiento de la industria petrolera en su conjunto, lo que propició la caída de las reservas de hidrocarburos, la pérdida de competitividad de Pemex y a las crecientes importaciones de gas natural, petrolíferos y petroquímicos, al rezago tecnológico, entre otros.

Abstract

This paper aims to conduct a thorough analysis of Cantarell, from the point of view of history, technology, investment, and economic infrastructure Cantarell field, in order to observe its importance in the country's economy and its role in politics national energy and study its evolution, current status and perspective.

The search of the increase in oil production is a national issue, largely because there was a decline in domestic production since 2004. The Cantarell field, which began production in 1979 and has since been the main source of production in the country, this has been the main of the decline in our country.

Furthermore it has been observed that PEMEX has a problem that's in the drop in reserves, loss of competitiveness, increasing imports of natural gas, oil and petrochemical, technological backwardness, among others.

Search improvements in the value chain of the process is critical to achieve the maximization of production and implement of continuous improvement in the processes of exploration, development of oil and its derivatives. The need for proper strategic planning is a topic that PEMEX should be addressed urgently as making wrong decisions caused the loss of the most important site for the national industry: Cantarell.

The importance of the oil industry can be summarized considering that PEMEX is the second largest company in Latin America in sales, after Petroleos de Venezuela, ranks 13th international major oil companies, in 2009 had a total of more than 81 billion dollars in sales (more than a billion dollars), it is also the main source of public resources because it contributes to the treasury in more than 40

billion dollars (more than 500 billion pesos) representing 31% of total federal government revenue.

Among the problems in the extraction of oil it has been found that Cantarell production has declined significantly, different methods have been applied to the flow of oil to recover its strength but unfortunately these efforts have not produced the expected results, either from the point of view of planning or from implementation.

Introducción

En México, la industria petrolera ha tenido una evolución importante, que le ha dado un sitio relevante en el contexto internacional. Sin embargo, ha enfrentado una serie de problemas tales como crisis financieras, disminución de reservas, bajas en la producción de crudo, falta de tecnología, entre otros, pero de igual forma también ha logrado superar retos, como el ubicar a PEMEX dentro de las primeras 15 empresas petroleras más importantes a nivel mundial, y a situarla como la principal empresa del país, que aporta 40 centavos de cada peso del total de ingresos que percibe el gobierno mexicano, amén de su importante contribución en la oferta energética nacional, en la captación de divisas y en la promoción de la inversión nacional.

Uno de los grandes problemas que enfrenta PEMEX ha sido la declinación en el nivel de producción de petróleo crudo, especialmente desde 2004 y hasta el 2012 en alrededor de 25%, situación que plantea diversas incógnitas sobre el futuro de la explotación del hidrocarburo. Es justo Cantarell la principal fuente de dicha caída, y aunque se ha podido compensar parcialmente con otros proyectos, no cabe duda que este macro yacimiento ha jugado y jugará un rol importante aún en los años que vienen como parte del portafolio de campos productores del crudo.

Desde el comienzo de su explotación en Cantarell se han llevado a cabo decisiones acerca de planes y estrategias para mejorar su eficiencia, incluso se han empleado métodos de recuperación mejorada para neutralizar su proceso de agotamiento.

El objetivo de la presente tesis es el llevar a cabo un análisis del campo Cantarell con objetivo de revisar su importancia en la economía del país y su rol dentro de la política energética nacional, así como el estudio de su evolución, situación actual y de su perspectiva.

La investigación se basó en la revisión bibliográfica de artículos, libros, memorias de labores y noticias referidas a Cantarell, abordando los temas de historia, evolución, volúmenes iniciales, volúmenes de producción, reservas e ingresos destinados para inversiones de infraestructura y mejora tecnológica. Para el desarrollo del trabajo se organizaron 4 capítulos. En el capítulo 1 se abarcan los temas de la producción Mundial y en México de los volúmenes de producción de petróleo así como de sus reservas, además se analizan las opciones que en la actualidad las industrias petroleras pueden utilizar para explotación de petróleo. Para el capítulo 2 se realizó una investigación sobre el desempeño de Cantarell de 1979 al 2009, esto con la finalidad de tener una visión desde sus inicios de explotación hasta el comienzo de su declinación, y su última etapa de mantenimiento. En el capítulo 3 analizan las características principales del propio yacimiento Cantarell, pasando por su ubicación, evolución histórica, estructura geológica y relación con el desempeño de la economía nacional. La información del capítulo 4 analiza en forma detallada la evolución de los niveles de producción crudo y gas de Cantarell y su rol en el total nacional, finalmente se revisan los temas financieros en general de este importante proyecto.

En general, se concluye que la vida del yacimiento Cantarell se divide en 3 etapas: la primera que la representa Akal, el segundo que involucra las inversiones y actividades de desarrollo, y el tercero en el que encontramos los procesos de recuperación mejorada. Se establece que Cantarell fue la base de la producción a nivel nacional, generando volúmenes de crudo e ingresos superiores a la suma de los demás proyectos que PEMEX tuvo en su infraestructura.

Se estima que aún Cantarell continuará siendo fuente de aportación del crudo producido en el país en al menos la actual décadas, no obstante, se requerirán adicionales métodos de recuperación con mayores desarrollos tecnológicos para que se siga explotando.

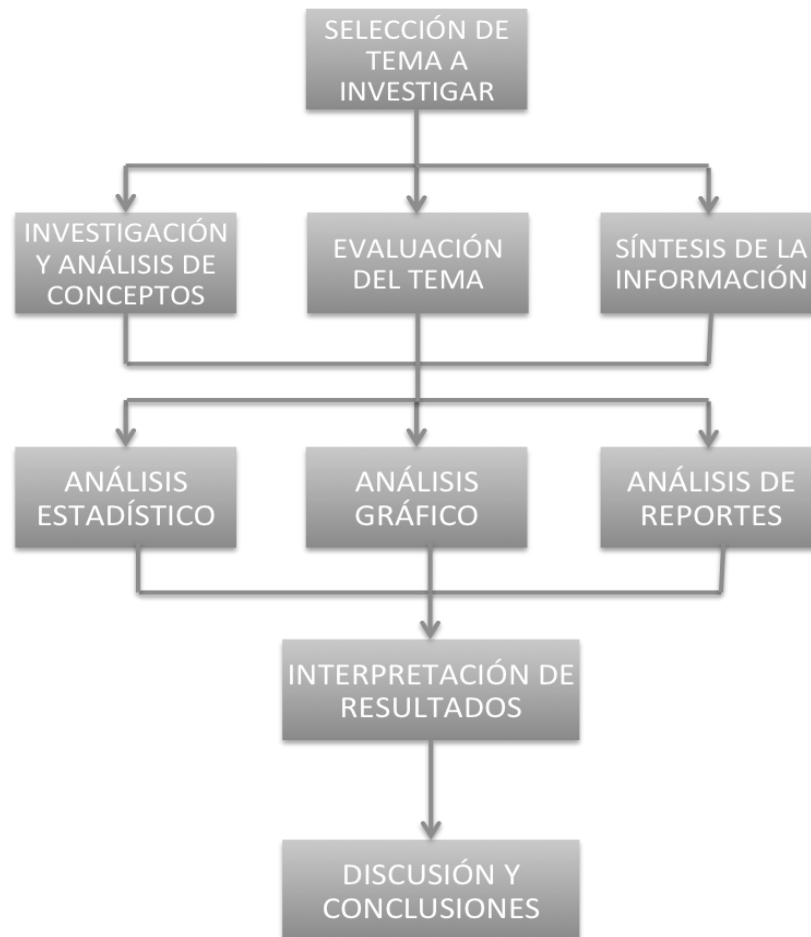


DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO LLEVADA EN ESTA TESIS

Capítulo 1: Evolución histórica del Petróleo a nivel mundial y en México.

1.1 Entorno Mundial del petróleo:

Actualmente el petróleo es la fuente de energía más importante de la sociedad moderna. Pero es no renovable y en caso de que se agotara, los países que dependen de su demanda enfrentarían problemas de abasto de energía.

La importancia del petróleo en el mundo no ha dejado de aumentar desde sus primeras aplicaciones industriales a mediados del siglo XIX, y ha sido el responsable de conflictos bélicos en algunas partes del mundo (Oriente Medio). La alta dependencia que el mundo tiene del petróleo, la inestabilidad que caracteriza al mercado internacional y las fluctuaciones de sus precios, han llevado a que se investiguen energías alternas, aunque hasta ahora no se ha logrado una opción que realmente lo sustituya.¹

El agotamiento de las reservas de petróleo constituye un grave problema, pues al ritmo actual de consumo los analistas más pesimistas consideran que las reservas mundiales conocidas se agotarían en menos de 40 años.

Por ello, los países desarrollados buscan nuevas formas de energía más barata y renovable como la energía solar, eólica, hidroeléctrica, nuclear, geotérmica, etc., mientras que los países productores de petróleo presionan para que se siga utilizando el petróleo pues si no sus economías se hundirían. Aún así, a medio plazo, la situación no parece tan alarmante, pues hay que tener en cuenta que los pozos no descubiertos son sustancialmente más numerosos que los

¹ Herrera Navarro, Ramón (1979). OPEP sus Relaciones Económicas Internacionales. Mérida, Venezuela: ULA (facultad de Economía).

conocidos. En zonas no exploradas como el mar de China, Aráburu, Mar de Bering, o la plataforma continental Argentina es posible encontrarse grandes reservas.²

Se estima que actualmente la humanidad ha consumido aproximadamente una cuarta parte del petróleo existente. Lo que se ha visto reflejado en la disminución progresiva de la producción del petróleo³. Además de 1999 al 2009 el consumo mundial de petróleo como energía primaria ha disminuido un promedio de 1.1% por año, siendo EUA el mayor consumidor con cerca del 20% de consumo mundial.⁴

En el año 2007, México se encontraba en 6° lugar a nivel mundial en la producción de petróleo, se estimaba que producía 3 082 miles de barriles diarios⁵, sin embargo tal nivel se ha reducido a 2.5 mbd.

Existen diferentes efectos en los mercados petroleros, originados por intereses económicos de las naciones productoras de petróleo, dentro de los cuales encontramos al Medio Oriente, un gran productor petrolero a nivel mundial, que la ha llevado a convertirse en una potencia económica y geopolítica atractiva, pero a su vez también conflictiva, de tal manera que podemos observar su importancia actualmente en los problemas internos librados en Túnez, Yemen, Libia, etc., estos conflictos como muchos otros provocan inestabilidad en los precios del petróleo, los cuales mantienen un nivel elevado desde mediados de la década pasada, sobre todo en comparación las dos décadas previas.

1.2 Producción Mundial de petróleo

Hacia mediados del 2012, se produce a nivel mundial cerca de 85 millones de barriles por día de petróleo, lo cual genera cantidades multimillonarias de

² <http://www.muchapasta.com/b/var/OPEP.php>.

³ Valencia García, Nicolás: La industria petrolera mexicana, Distrito Federal, México, IMP.

⁴ SENER, "Prospectiva del mercado de petróleo crudo 2010-2025", Gobierno Federal, 2011.

⁵ www.pemex.com.

ingresos para los productores. El mercado mundial de petróleo es complicado, volátil e inestable, esto generado en mayor parte por problemas de geopolítica, económicos, especulaciones de reservas y producción, sociales. En algunos casos por declaraciones de descenso o aumento en la producción o especulaciones de incorporación de nuevas reservas, generadas por las mismas compañías petroleras y los países que son productores o consumidores de petróleo.⁶

La capacidad de producción de petróleo por países se puede observar en la tabla 1.1 y en la figura 1.1, en las que destacan Rusia y Arabia Saudita; cabe mencionar que a pesar de que Arabia Saudita es uno de los mayores productores de petróleo, también es uno de los que menos lo consumen.

Tabla 1.1: Producción mundial de petróleo en el 2011

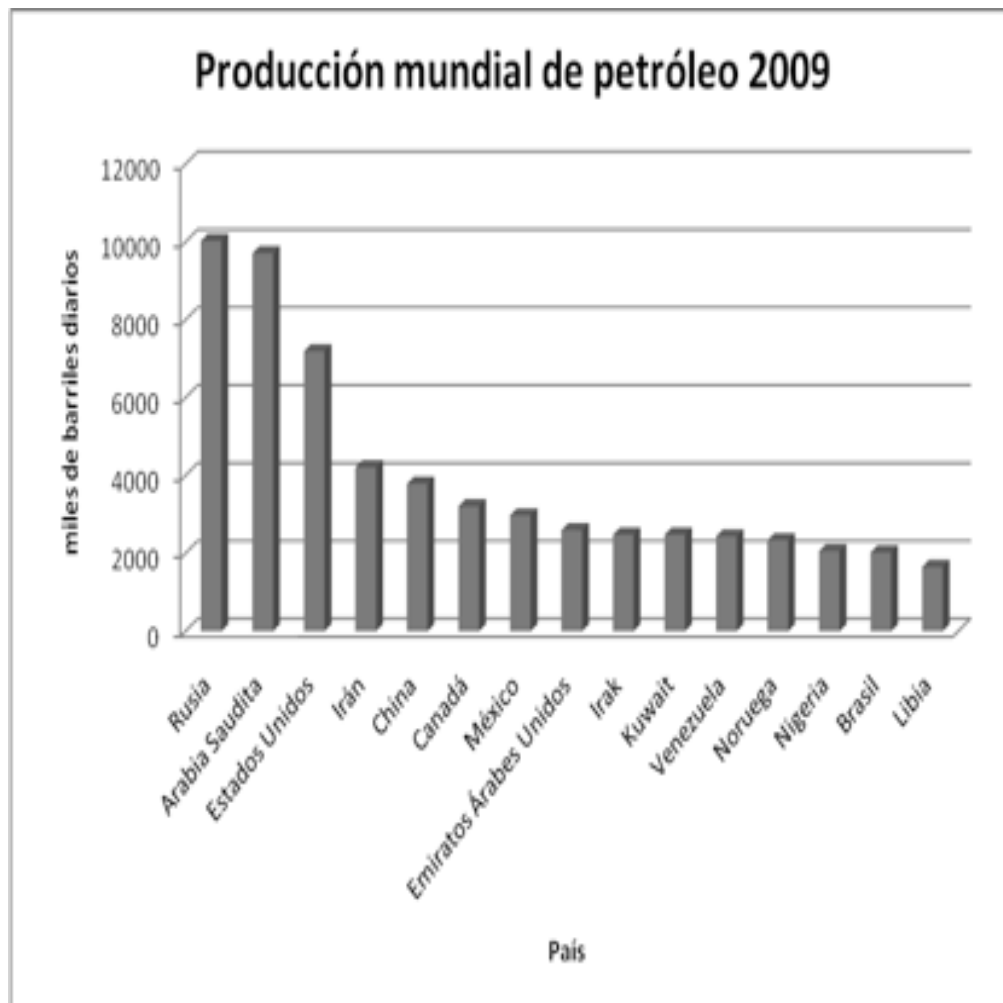
| País | Miles de barriles diarios | % |
|------------------------|----------------------------------|------------|
| Arabia Saudita | 11,161 | 16.1 |
| Rusia | 10,280 | 5.3 |
| Estados Unidos | 7,841 | 1.9 |
| Irán | 4,321 | 8.7 |
| China | 4,090 | 0.9 |
| Canadá | 3,522 | 10.6 |
| México | 2,938 | 0.7 |
| Emiratos Árabes Unidos | 3,322 | 5.9 |
| Irak | 2,798 | 8.7 |
| Kuwait | 2,865 | 6.1 |
| Venezuela | 2,720 | 17.9 |
| Noruega | 2,039 | 0.4 |

⁶ http://www.energiaenlinea.com/index.php?option=com_content&view=article&id=645:iquienes-son-los-principales-proveedores-del-mercado-mundial-del-petroleo&catid=67:categoria-analisis-y-opinion-gas-natural&Itemid=538

| | | |
|---------|-------|-----|
| Nigeria | 2,457 | 2.3 |
| Brasil | 2,193 | 0.9 |
| Qatar | 1,723 | 1.5 |

Fuente: BP, 2011

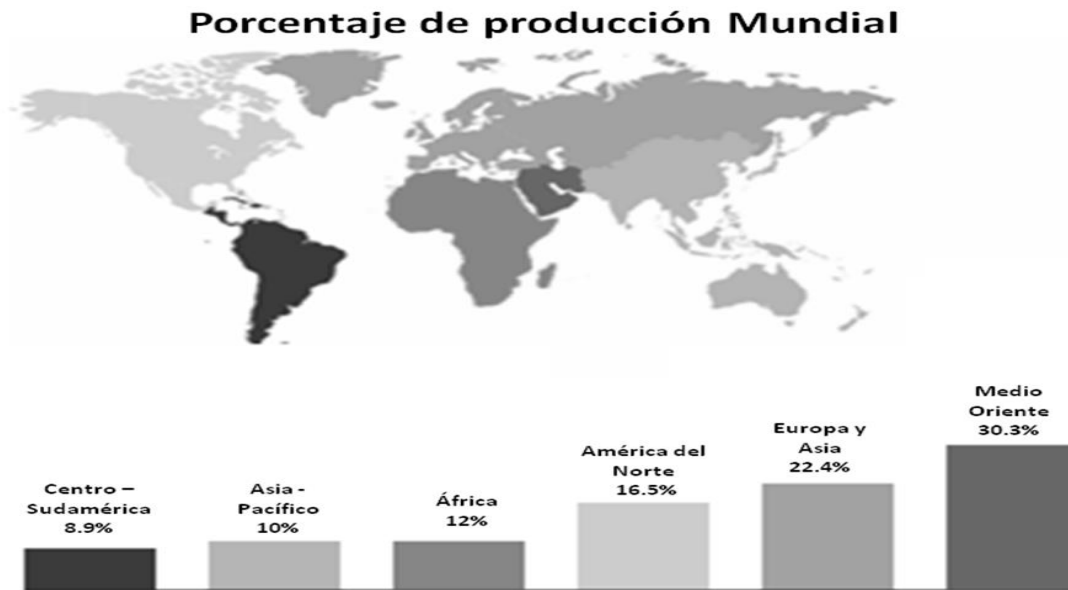
Desde hace 10 años la evolución en la producción de crudo ha disminuido a través de los años, pero en los últimos 2 años la producción se ha estabilizado y además se han incorporado nuevas reservas de petróleo.



Fuente: BP, 2009.

Figura 1.1: Producción mundial de petróleo 2009.

La producción se encuentra concentrada en el área del Medio Oriente, Asia y Europa, siendo el primero el mayor productor. Por esta razón Medio Oriente sigue siendo el centro de atención en producción y de reservas. Esta tendencia la podemos observar en la figura 1.2.



Fuente: BP, 2010⁷.

Figura 1.2: Mapa de los porcentajes de producción mundial de petróleo.

1.3 Reservas Mundiales de petróleo

El estudio, planeación y desarrollo de nuevas reservas de petróleo es de gran importancia, ya que influyen directamente sobre la economía, política, seguridad energética, etc. de los países dependientes de éstas. La distribución mundial de las reservas no es homogénea, se encuentran en locaciones específicas que fueron aptas para la creación de petróleo.

⁷ British Petroleum Statistical review of energy: Oil production Barrels, 2010.

Los volúmenes de reservas en la actualidad están cambiando constantemente, y se encuentran fluctuando en precios elevados, superiores a los 100 dólares, por lo que los proyectos de obtención de nuevas reservas los cuales son mas costosos, se vuelven viables para investigación.

Es importante tomar en cuenta el volumen de las reservas de petróleo, en cálculos realizados se estima que el volumen de petróleo restante rendirá solo por 40 años más, por tal razón es necesaria la exploración de nuevos yacimientos para incrementar el volumen de reservas, lo cual conllevará a tener reservas para mas años de los que se estiman⁸.

A finales de 2011, las reservas mundiales probadas de petróleo ascendían a 1652.6 billones de barriles. Por países el 72.4% de esas reservas se encuentran en los 11 países pertenecientes a la Organización de Países Productores de Petróleo (OPEP) –Arabia Saudí, Argelia, Emiratos Árabes Unidos, Indonesia, Irak, Irán, Kuwait, Libia, Nigeria, Qatar y Venezuela–. El 14,2% del total mundial se encuentra en países pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), formada por 30 países entre los que se encuentran los económicamente más potentes del mundo.

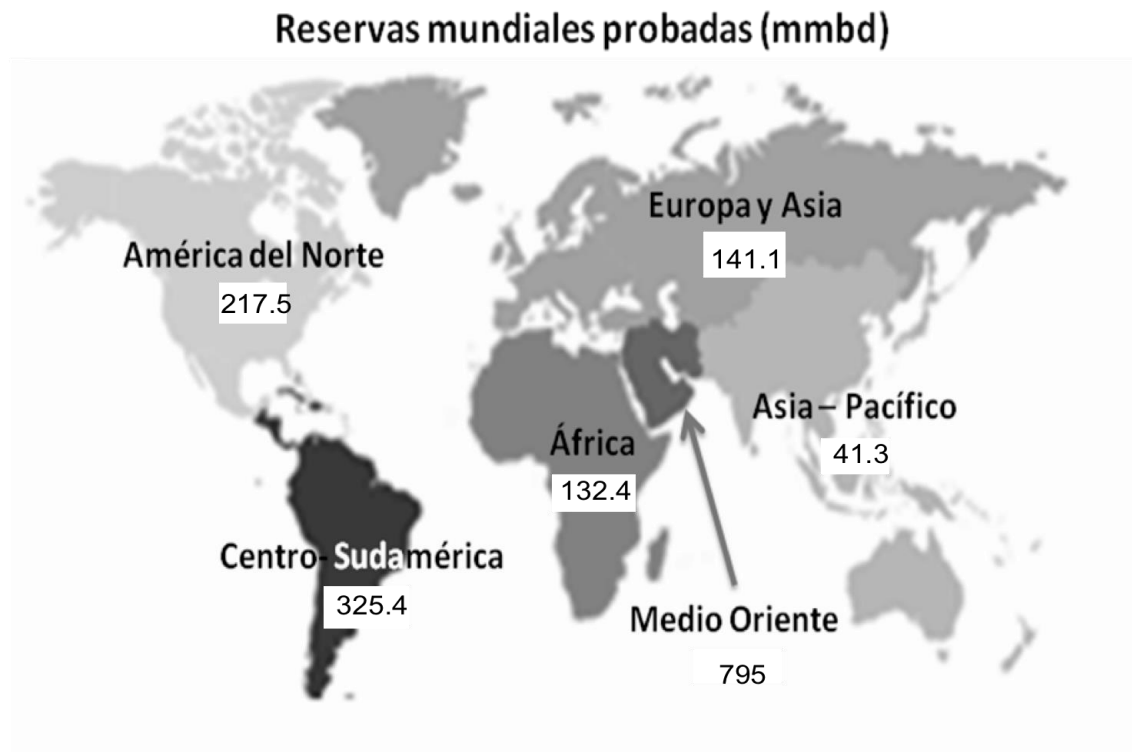
El resto, un 13.4%, está repartido en los demás países del mundo (entre éstos destacan, por sus reservas, Rusia y China). Esto quiere decir que el 85.8% de las reservas actualmente existentes de petróleo en el mundo se encuentran en esos 12 países.

Las cantidades de los volúmenes de producción de barriles de petróleo es de gran importancia en tanto en cuanto permite averiguar la duración de las reservas mundiales si no se efectuasen nuevos descubrimientos. De esta forma, si la producción de petróleo siguiera en el futuro al mismo ritmo que en 2001, las reservas mundiales –salvo que se encontrasen nuevos yacimientos– durarían

⁸ Anuario estadístico, 2009, PEMEX.

40,3 años. En los últimos 30 años, la capacidad máxima de reservas de petróleo se alcanzó en 1989, cuando se estimó que éstas durarían 45 años más.

En figura 1.3 podemos observar los valores de las reservas y producción de crudo a nivel mundial durante el 2011:



Fuente: BP, 2011⁹.

Figura 1.3: Mapa de reservas mundiales.

Revisando los volúmenes de reservas de los siguientes años podemos observar que en el 2011 encontramos valores diferentes en los volúmenes de reservas mundiales por zona:

⁹ British Petroleum Statistical review of energy: Proved reserves, 2009.

Tabla 1.2: Reservas mundiales de petróleo en el 2001 y 2011 (mmb)

| ZONA | 2001 | 2011 |
|---------------------|-------|-------|
| Norte América | 230.1 | 217.5 |
| Sudamérica y Centro | 98.8 | 325.4 |
| Europa y Asia | 102.4 | 141.1 |
| Medio Oriente | 698.7 | 795 |
| África | 96.8 | 132.4 |
| Asia-Pacífico | 40.5 | 41.3 |

Fuente: BP, 2011¹⁰.

Como podemos observar en 10 años ocurrió una incorporación de un gran volumen de reservas de petróleo en casi todas las zonas del mundo.

1.4 OPEP

En el año 1960 nace la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), la cual se encontraba conformada por Iraq, Irán, Kuwait, Arabia Saudita y Venezuela.

Después de su ratificación por los gobiernos signatarios la OPEP se registró ante las Naciones Unidas el 6 de noviembre de 1962. Fue oficialmente reconocida como una organización internacional por el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas el 30 de junio de 1965. (Resolución de las Naciones Unidas No.6363). La OPEP tuvo su sede en Ginebra (Suiza) entre 1960 y 1965, y después trasladó su sede a Viena, gracias a las facilidades que otorgó el gobierno austriaco.¹¹

¹⁰ Statistical review of world energy full report 2012, www.bp.com.

¹¹ <http://www.muchapasta.com/b/var/OPEP.php>.

La OPEP es un organismo intergubernamental creado con la finalidad de coordinar las políticas de producción de petróleo, con el fin de estabilizar el mercado internacional de hidrocarburos.

Se rige bajo los siguientes estatutos:

- Coordinar y unificar las políticas petroleras de los países miembros y determinar los medios más idóneos para salvaguardar sus intereses individuales y colectivos.
- Buscar las mejores vías y medios para asegurar la estabilidad de los precios en los mercados internacionales, con miras a eliminar las fluctuaciones perjudiciales e innecesarias.
- Proveer a las naciones consumidoras un suministro de petróleo de un eficiente, económico y regular y un retorno justo de capital para las inversiones de la industria petrolera.

Posteriormente se incorporaron a la OPEP otros países, entre los que se encuentran Nigeria, Libia, Qatar, Emiratos Árabes Unidos (EAU), Indonesia, Argelia y Gabón¹².

Es importante mencionar que en todos los países enlistados en la tabla 1.1, existen grandes cuencas que acumularon petróleo a través de 200 millones de años, bajo características específicas requeridas para la generación de petróleo¹³.

¹² www.opec.org.

¹³ Herrera Navarro, Ramón (1979). OPEP sus Relaciones Económicas Internacionales. Mérida, Venezuela: ULA (facultad de Economía).

Tabla 1.3: Ingreso de los primeros países a la OPEP¹⁴.

| País | Localización | Año de Ingreso |
|------------------------|---------------|----------------|
| Arabia Saudita | Medio Oriente | 1960 |
| Argelia | África | 1969 |
| Emiratos Árabes Unidos | Medio Oriente | 1967 |
| Indonesia | Asia | 1962 |
| Irán | Medio Oriente | 1960 |
| Iraq | Medio Oriente | 1960 |
| Kuwait | Medio Oriente | 1960 |
| Libia | África | 1962 |
| Nigeria | África | 1971 |
| Qatar | Medio Oriente | 1961 |
| Venezuela | Sudamérica | 1960 |
| Gabón | África | 1975 |

Fuente: OPEP, 2011¹⁵.

En la figura 1.4 podemos observar a los países que ingresaron a la OPEP durante los primeros años.

¹⁴ Herrera Navarro, Ramón (1979). OPEP sus Relaciones Económicas Internacionales. Mérida, Venezuela: ULA (facultad de Economía).

¹⁵ www.opec.com.



Fuente: BP, 2009¹⁶.

Figura 1.4: Mapa de los países pertenecientes a la OPEP durante los primeros años.

Cabe mencionar que dentro de los yacimientos existentes en estos países se extrae gas natural de manera conjunta al petróleo¹⁷.

Actualmente los integrantes pertenecientes a la OPEP son:

- Arabia Saudita (9.65 millones de barriles diarios).
- Irán (3.32 millones de barriles diarios).
- Irak (2.7 millones de barriles diarios).
- Emiratos árabes Unidos (2.61 millones de barriles diarios).
- Kuwait (0.6 millones de barriles diarios).
- Qatar (0.81 millones de barriles diarios).
- Angola (1.71 millones de barriles diarios).
- Nigeria (2.06 millones de barriles diarios).
- Libia (1.25 millones de barriles diarios).

¹⁶ British Petroleum Statistical review of energy: Proved reserves, 2009.

¹⁷ Méndez, Orlando (2000). La OPEP, Logros y Retos. Caracas, Venezuela: Ediciones Divulgativas, PDVSA.

- Argelia (1.16 millones de barriles diarios).
- Ecuador (0.48 millones de barriles diarios).
- Venezuela (2.46 millones de barriles diarios).

Esta lista se ha visto afectada durante los años por condiciones a las cuales los países se enfrentan, tal es el caso de guerras, geopolítica, dificultad para cubrir cuotas, problemas de reservas, entre otras razones.

Dada los volúmenes de producción y reservas de crudo que tienen los países pertenecientes a la OPEP, su rol en el mercado mundial de petróleo es el mas importantes al mantener los mayores porcentajes.

Esta situación la podemos observar en la influencia de los países en situaciones bélicas, políticas y económicas, las cuales afectan directamente el precio del barril de petróleo.

1.5 Demanda del petróleo

El petróleo posee una gran variedad de compuestos, que hacen que se realicen más de 2,000 productos, en los que destacan combustibles, disolventes, gases, alquitranes y plásticos. La gama casi infinita de productos derivados le convierten en uno de los factores más importantes del desarrollo económico y social en todo el mundo.

La economía mundial y su desarrollo está regida por los combustibles y derivados del petróleo, aviones, barcos, trenes, fábricas y ciudades enteras utilizan la energía generada por éstos.¹⁸

Todos los productos y sus precios están relacionados de alguna forma con el petróleo ya sea por los gastos de transporte, producción o embalaje. Cuando

¹⁸ La Jornada, Petróleo y economía, diciembre 2007.

sube el precio del petróleo se produce una subida de los costes, de forma más o menos inmediata, en casi todos los sectores productivos y, en consecuencia, se nota en los precios de los bienes de consumo.

La extracción y producción de petróleo está en manos de unos pocos países productores y es controlada por los denominados cárteles (OPEP), quienes con sus decisiones influyen en los distintos mercados en los que se fijan los precios mínimos del crudo.¹⁹

Algunos estudios estiman que cada 5 dólares de cambio en el precio del crudo el efecto expansivo o depresivo en el crecimiento global es de un 0,5% del PIB mundial.

En los últimos 20 años en el mundo el incremento en los índices de la población ha aumentado en 1,600 millones de personas, y se espera que en los siguientes 20 años aumente en otros 1,400 millones. Esta cifra es importante ya que se estima que el consumo de energía aumente en 0.7%. Por tal razón es necesario prever la demanda de petróleo incrementando los volúmenes de las reservas probadas.

La demanda de crudo a nivel mundial se ha incrementado continuamente, a pesar de que su porcentaje con los diferentes tipos de energías ha disminuido cerca del 1% anual. Pero aun así se espera que su uso continúe aumentando de manera positiva aunque más lento durante el 2013 según la OPEP. La Agencia Internacional de Energía prevé un crecimiento de la demanda mundial de petróleo para el 2013 en 865,000 barriles por día (bpd), 110,000 barriles más que en su reporte anterior, incrementando el consumo a un promedio de 90.5 millones de barriles por día, cifra que seguirá posicionando al petróleo como la primera opción en materia energética.

¹⁹ El Financiero, La OPEP, un poderoso cartel de exportadores de petróleo, Diciembre 2010.

1.6 Los retos actuales de la industria petrolera mundial

El petróleo se encuentra inequitativamente distribuido en el mundo, pero además, se ha extraído gran parte del que se ubica en campos accesibles. Una parte importante de los países productores han realizando esfuerzos adicionales para obtenerlo en condiciones cada vez más complejas, lo que conlleva a centrar las operaciones en campos maduros, aguas profundas, petróleos no convencionales e incluso en áreas protegidas, como reservas ecológicas.

1.6.1 Campos maduros

Existe un enorme potencial en los campos maduros que están próximos a su declinación natural, ya que la eficiencia de porcentaje de extracción en el volumen total de los yacimientos es entre 40% y 80% dependiendo de la tecnología de la empresa. Esto tiene como consecuencia que una gran cantidad de volumen de petróleo permanezca en los yacimientos sin ser explotada. Las técnicas de recuperación mejorada, EOR por sus siglas en inglés, permiten aumentar el índice de extracción en volumen y tiempo. Se estima que recuperar sólo el 1% extra en todo el mundo equivaldría 20-30 billones de barriles de petróleo recuperado adicionales.

Solo el 30% del aceite de un pozo petrolero puede extraerse con los métodos tradicionales (esto se debe a que la mayor cantidad del aceite se encuentra en el medio poroso o matriz), por lo que existen enormes cantidades de petróleo por recuperar por EOR.²⁰

Estudios recientes de la Agencia Internacional de Energía señalan que 20% de la producción de petróleo del mundo en el año 2030 provendrá del EOR.

²⁰<http://ingenieria-de-yacimientos.blogspot.com/2008/12/mtodos-de-recuperacin-mejorada-eor.html>.

Cada yacimiento es único debido a las propiedades de sus crudos y del medio poroso donde se encuentran, por tanto, es necesario diseñar las soluciones de manera específica para cada proyecto; los químicos empleados, las concentraciones y el volumen a inyectar dependerán de las propiedades de los fluidos y de la formación.²¹

La aplicación de las técnicas de recuperación mejorada está directamente relacionada con el precio internacional del crudo, ya que esto representa una inversión adicional para la extracción del aceite; sin embargo, a medida que el petróleo se agote y su costo siga aumentando, el uso de estas tecnologías será cada vez más importante; en promedio, con precios internacionales por arriba de \$60 dólares el barril, las tecnologías de EOR son perfectamente factibles y necesarias, pues se dice que la época del petróleo barato o de fácil acceso ha llegado a su fin.

No hay garantía absoluta de que los procesos funcionarán adecuadamente, ya que existen muchas variables involucradas y aun a pesar de haber estudiado todos los detalles, conseguido los productos químicos adecuados, contado con la infraestructura necesaria y el diseño perfecto, simples detalles en la inyección o fallas en la misma pueden ocasionar el fracaso en las pruebas, que además de ser costosas, requieren de mucho tiempo previo de estudios, para la operación y aplicación de las tecnologías y para poder interpretar los resultados después de las operaciones efectuadas.²²

1.6.2 Aguas Profundas

La exploración en aguas profundas se está acelerando en todo el mundo y ofrece tentadoras nuevas fuentes de petróleo. Muchas de las compañías que

²¹ PDVSA-CIED, Métodos de Recuperación Mejorada con Aditivos Químicos, Instituto de Desarrollo Profesional y Técnico, Caracas, 1998.

²² Manrique, E.; Estatus de la recuperación mejorada de petróleo, Tiorco, 2010.

hacen exploración de aguas profundas son gigantes petroleros con grandes cantidades de efectivo y relativamente pocos lugares donde invertirlo, ya que muchas de las áreas con mejores perspectivas, como Medio Oriente, están cerradas a la inversión occidental.²³

En el mundo existe el llamado triángulo de oro, en el cual se espera obtener grandes volúmenes de petróleo, en América abarca desde la zona del Golfo de México hasta Brasil y en África de Mauritania hasta El Congo. La capacidad de explotación en aguas profundas es enorme, solo en México existen 575,000 km² de superficie consideradas con más de 10,000 millones de barriles de reservas 3p.

Hay posibilidades reales de incrementar, moderadamente, los niveles de producción de petróleo y gas en los próximos años, pero un aumento sustancial solo será posible en el área situada en el Golfo de México.

Actualmente el 55% del petróleo que México podría extraer se encuentra en aguas profundas del Golfo de México y el 88% de éste a una profundidad superior a los 1,000 metros.²⁴

Uno de los mitos sobre la reforma energética es que México no puede extraer petróleo de aguas profundas por carecer de tecnología y personal capacitado para hacerlo, cuando gracias a sus instituciones públicas de nivel superior o especializadas, como el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el país ha llegado a desarrollar tecnología de punta en diversos ámbitos.²⁵

Por las razones mencionadas anteriormente el potencial de explotación de aguas profundas debe de ser tomado como una de las primeras opciones para la incorporación de nuevas reservas de petróleo en el mundo.²⁶

²³ <http://www.fernandoflores.cl/node/1628>.

²⁴ www.pemex.com.

²⁵ La Jornada, México invierte en Aguas Profundas, Abril 2008.

²⁶ www.cnnexpansion.com.

1.6.3 *Crudos no convencionales*

Generalmente las compañías petroleras basan su producción en el crudo convencional. Pero en el otro extremo se encuentra el no convencional, el cual es más pesado, sulfurado y difícil de extraer.

A medida que el petróleo convencional se agota y la demanda aumenta, el no convencional gana cada vez más protagonismo. Si en el año 2000 representaba el 16% de la producción mundial total, en 2007 alcanzaba el 25%, y se estima que en 2015 llegará al 40%.

Además, otras características de estos crudos, es que tienen un alto contenido porcentual de azufre. De igual manera pueden tener un apreciable contenido de sal y también contienen metales (níquel, vanadio y otros). Algunas veces pueden tener también cierta cantidad de sulfuro de hidrógeno, que también es muy corrosivo y venenoso.

Todo esto hace que la refinación de estos crudos requiera métodos y tratamientos especiales para mejorar su calidad y obtener los resultados deseados de comercialización.

En cuanto al volumen posible de extracción, los responsables del Congreso Mundial del Petróleo, aseguraron que hay 30,000 millones de barriles de crudo no convencional que actualmente ya se encuentran en explotación en Venezuela y Canadá, además que existen detectados, aunque sin contabilizar todavía como reservas probadas, entre siete a nueve billones de barriles.²⁷

La producción del crudo no convencional es más cara, contaminante y exige más cantidades de agua, energía y disolventes que la convencional. Así se

²⁷ Congreso Mundial del Petróleo, 2012.

puede comprobar en las actuales extracciones de estos crudos. Por su parte, las emisiones contaminantes también son mayores. Los procesos de producción y mejora de los crudos extrapesados y bituminosos pueden expulsar hasta seis veces más dióxido de carbono (CO₂) que los convencionales.²⁸

Existe crudo y gas no convencional, los cuales se dividen de la siguiente forma:

Crudos no convencionales:

- Heavy Oil: Petróleo en estado líquido de alta densidad.
- Oil Shale: Petróleo producido directamente de la roca madre.
- Oil Sands o arenas bituminosas: Arenas impregnadas en bitumen.
- Tight Oil: Petróleo proveniente de reservorios con baja porosidad y permeabilidad.²⁹

Gases no convencionales:

- Shale Gas: Gas Natural contenido en rocas arcillosas (shale).
- Tight Gas: Gas natural contenido en rocas con baja porosidad y permeabilidad.
- Coalbed Methane: Gas natural extraído de capas de carbón.
- Hidratos de metano: Compuesto sólido similar al hielo que contiene metano.

²⁸ Revista Voces en el Fénix, Gas y petróleo no convencional: perspectivas y desafíos para su desarrollo en Argentina, Diciembre 2012.

²⁹ http://www.repsol.com/imagenes/es_es/no_convencionales_597x540_06_esp_tcm7-607176.swf.

Los recursos no convencionales pueden suponer en las próximas décadas una aportación decisiva para el suministro mundial de energía. Por ejemplo, la irrupción del gas no convencional ha elevado las reservas mundiales hasta los 920 trillones de metros cúbicos, según datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).³⁰

1.7 El petróleo en México

México comienza su autonomía en la industria petrolera en 1938, por medio de la Expropiación petrolera y el nacimiento de PEMEX. A partir de este momento la industria petrolera nacional inicia un camino muy importante. A través de los años PEMEX se vuelve parte importante e indispensable en la economía nacional³¹.

En los primeros años de producción modesta, México generaba un aproximado de 106 mil barriles diarios, con el paso de los años la producción y demanda de hidrocarburos se incrementó de gran forma, lo que lo llevó a incrementar su producción en 163 mil barriles por día (1948) y durante los años 70 a llegar a los 331 mil barriles diarios³².

Para 1979, la producción de petróleo alcanza 1.5 millones de barriles diarios y en el periodo del 2004 al 2005 se registra el pico de producción con 3.3 millones de barriles diarios, seguido de una caída en la producción, la cual llegó a los 2 millones de barriles diarios en el 2009.

Dentro de los campos más importantes de PEMEX encontramos Cantarell (1972) y Ku Maloob Zaap (1980), donde el primero asume mayor importancia ya

³⁰ <http://www.slideshare.net/lovedoris52/petroleo-no-convencional>.

³¹ Álvarez de la Borda, Joel, Crónicas del petróleo en México, Archivo histórico de Petróleos Mexicanos, PEMEX.

³² www.pemex.com.

que durante muchos años su producción representó más del 50% de la producción nacional.

La producción de petróleo en México durante los primeros años presentó un comportamiento ascendente, el cual en todo momento se ha encontrado estrechamente relacionado con la producción de Cantarell³³.

Afortunadamente en el 2011 y 2012, el porcentaje de descenso ha disminuido y la producción se estabiliza durante estos dos años, llegando a Octubre del 2012 a una producción de petróleo de 2,868 mbd.

PEMEX produce 3 diferentes tipos de crudo, los cuales podemos encontrar en la tabla 1.4:

Tabla 1.4: Tipos de crudo que se producen en México³⁴.

| Nombre crudo | Tipo de crudo | Densidad | Producción 2011 | Producción |
|--------------|---------------|----------|-----------------|------------|
| Mexicano | | API | (mbd) | 2012 (mbd) |
| Maya | Pesado | 22 | 1,431 | 1,390 |
| Itsmo | Ligero | 33.6 | 784 | 831 |
| Olmeca | Superligero | 39.3 | 342 | 319 |

Fuente: PEMEX

En la figura 1.5 podemos observar cómo ha evolucionado la producción de petróleo en PEMEX del año 1979 al 2009, se reitera que hasta el año 2005 se presentaba un incremento continuo en la producción nacional, y que a partir de este año el volumen de producción de petróleo comienza a disminuir.

Fuente: PEMEX³⁵.

³³ Valencia García, Nicolás: La industria petrolera mexicana, Distrito Federal, México, IMP.

³⁴ www.pemex.com.

³⁵ www.pemex.com.

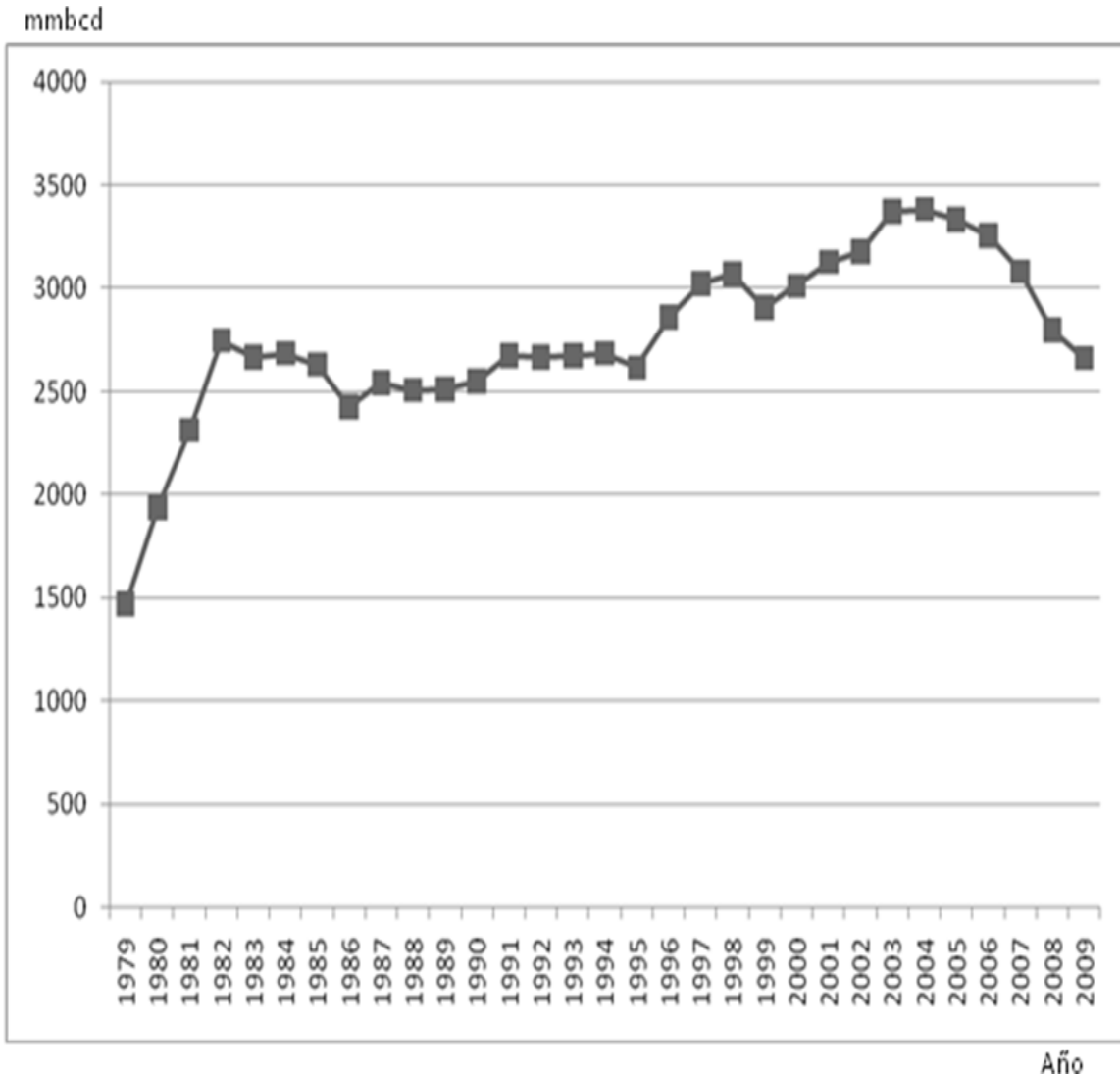


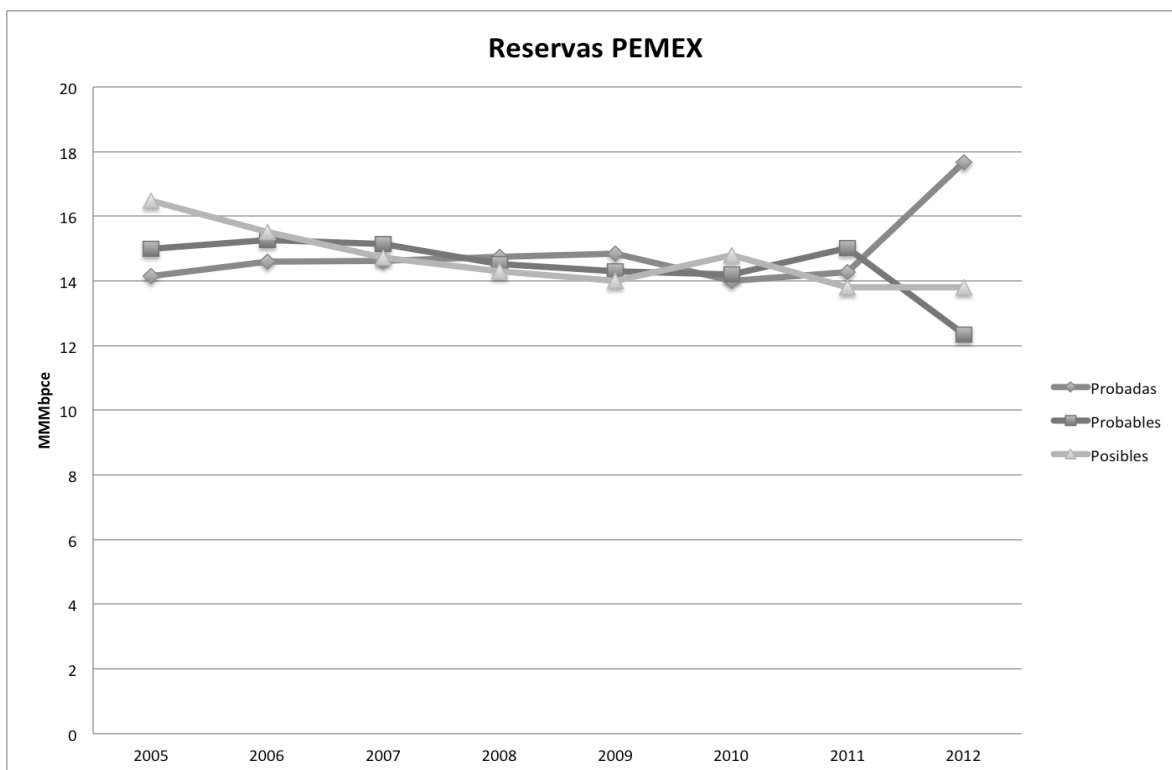
Figura 1.5: Producción histórica de petróleo en PEMEX.

1.8 Reservas de petróleo en México

El mayor problema que enfrenta PEMEX en la actualidad, es la disminución de sus reservas de hidrocarburos, las cuales se han visto afectadas por diferentes factores entre los que podemos destacar el desinterés a través de muchos años de PEMEX en la búsqueda de nuevos yacimientos³⁶.

³⁶ Plan de negocios de Petróleos Mexicanos, 2010.

En la gráfica 1.6 podemos observar la disminución de las reservas nacionales a partir del 2005, asociado a que fue hasta esos años cuando se empezaron a canalizar crecientes recursos de inversión a la exploración, sobre todo en aguas profundas, Burgos, Chicontepec, Ku Maloob Zaap y algunos campos con potencial frente a las costas de Campeche:



Fuente: PEMEX³⁷.

Figura 1.6: Reservas nacionales del 2005 al 2012.

Desde 1991, México ha presentado un descenso importante en el volumen de reservas de petróleo. Revisando la producción de petróleo en las memorias de labores de PEMEX, podemos observar que antes de 1991 se tenían reservas de 50.9 mmmb, de 1991 al 2001 de 18.8 mmb, y al 2011 de 11.4 mmmb. Cabe mencionar que del 2010 al 2011 se observó una disminución en la pérdida de

³⁷ Memoria de Labores, PEMEX, 2009.

reservas, lo cual en gran parte es debido a los nuevos planes de PEMEX para incorporar descubrimientos y a los niveles actuales de producción.

La figura 1.6 nos brinda una imagen de la tendencia de PEMEX para obtener un mayor volumen de reservas probadas, situación que permite a la paraestatal la capacidad de incrementar la capacidad de explotación en volumen y tiempo de sus reservas con mayor seguridad. Esto debido a las tecnologías actuales, las cuales permiten extraer crudo de zonas que anteriormente no era posible, además de la incorporación de nuevos descubrimientos.

Dentro de los proyectos de PEMEX, del 2011 al 2025 ya se encuentra planificada su posición ante la toma de decisiones acerca de la incorporación de reservas, y ha planteado los siguientes puntos como prioridades:

- Descubrimiento de nuevos yacimientos y realizar un correcto desarrollo comercial de reservas.
- Incrementar el nivel de restitución de reservas probadas 1p al 100% o más.
- Mantener el nivel de restitución de reservas probadas 1p al 100% o más.
- Delimitar y caracterizar los campos descubiertos con mayor potencial, privilegiando aquellos con mayor probabilidad de reclasificar reservas posibles a probadas y probables.
- Incrementar el nivel de incorporación de reservas de aceite en aguas someras y áreas terrestres.

- Mejorar los resultados exploratorios y desarrollo de reservas a través del empleo de tecnologías de vanguardia.³⁸

³⁸ Secretaría de energía, “Estrategia nacional de energía”, Febrero 2011.

Capítulo 2: Historia del desarrollo de Cantarell.

2.1 Evolución Histórica de Cantarell de 1979 al 1990

La base de las operaciones de la industria petrolera en México desde finales de los setentas se centró en el yacimiento Cantarell, porque vino a cambiar la dinámica de los trabajos que sólo se realizaban en tierra y que comprendían los campos explotados que actualmente abarcan las regiones Norte y Sur.

En 1972 un pescador de nombre Rudesindo Cantarell, encuentra una mancha de petróleo en el Golfo de México. A partir de este descubrimiento PEMEX comienza la exploración en la zona y en 1976 se perfora en la plataforma continental del Golfo de México el pozo Chac No. 1, y de esta manera, comienza la producción de la Sonda de Campeche³⁹.

Hacia finales de 1974, se produjeron 461 mil barriles diarios, que comprendían fundamentalmente las operaciones en Poza Rica-Altamira, Bellota-Jujo, Cinco Presidentes y Muspac, más que triplicándose a mediados de 1979, por los trabajos realizados en la región Sur, particularmente en el Campo Samaria Luna, además de los ya citados.

Pero con el inicio de la producción del campo Cantarell, se dio otro nuevo impulso a la explotación de petróleo crudo en el país, lo que permitió elevar en muy corto plazo la producción hasta 2 millones de barriles por día a mediados de 1980.

En general, la evolución del campo Cantarell se describe a continuación a fin de contextualizar su desarrollo en el que vivió la petrolera estatal mexicana.

³⁹ www.pemex.com, Cantarell: pasado, presente y futuro.

Durante 1979, el mercado Internacional del petróleo mantuvo un nivel de inestabilidad, debido a los problemas socio políticos generados en el Medio Oriente. Además ocurrieron aumentos generalizados en los precios del crudo, debido a la nueva reevaluación de recursos naturales de los países petroleros.

En México con el agotamiento de la Política de sustitución de Importaciones, y el Boom petrolero en marcha, se pretende la reducción del gasto público, el combate a la inflación, la estabilidad financiera y el fortalecimiento del ahorro interno. Se propuso reemplazar al Estado obeso y sustituirlo por uno fuerte y eficiente, lo cual no prosperó.⁴⁰

El programa de inversión incluyó estudios exploratorios en Campeche en plataforma continental, lo cual llevó a un incremento sustancial en la producción nacional en Cantarell (Chac (1976), Nohoch y Akal). La explotación de Cantarell inició el 23 de junio de 1979, con el pozo descubridor de campo de aceite: Cantarell 2095 (4 pozos); el cual tenía una columna impregnada de 974 m. Dentro del yacimiento Cantarell el pozo Akal obtiene una producción promedio por pozo de 42,000 bd. Como parte del programa en Campeche se instalan 9 plataformas fijas de perforación.⁴¹

Hacia 1980 la economía mundial presentó una continua inflación (entre los problemas encontramos desajustes en el sistema monetario internacional y desaceleración económica de países industrializados) y aumento significativo en el desempleo.

⁴⁰ Klark W. Reynolds, La economía mexicana: su estructura y crecimiento en el siglo XX, FCE, 1973.

⁴¹ PEMEX, Memoria de Labores 1979, 1979.

Aunado a estos problemas existe presencia de un conflicto bélico entre Irak e Irán, que trajo como consecuencia la suspensión de exportaciones de los dos países (aproximadamente 4 millones de bd).

Se firma el Acuerdo de San José, el cual consistió en el suministro de petróleo por parte de México y Venezuela a los países de Centroamérica y el Caribe ⁴².

Durante este año el precio del crudo aumenta significativamente a 50 dólares por barril. Además de los problemas internacionales ya mencionados el precio del crudo se vio afectado por el aumento sustancial de los volúmenes de crudo exportado, así como de la disminución en la producción mundial de petróleo.

Como parte de la ayuda a varios países centroamericanos, México brindó asesoría a Costa Rica para evaluación de sus recursos petroleros.

En la Región Marina Noreste comienza la caracterización estructural de la plataforma de Campeche (con la ayuda de sismología tridimensional).

Se implementa la ampliación del área productora de Cantarell, por medio del pozo Ich 1 (aceite), y en Akal se obtiene una producción promedio por pozo de 31,700 bd. El 28 de Mayo entró en operación el Messiniaki Floga (barco cisterna de gran calado que contiene una instalación industrial) para almacenar parte del crudo producido por Cantarell, lo cual permitió cargar buque tanques en mar abierto. Como parte de la inversión de infraestructura de Cantarell se instaló en Nohoch A un sistema de medición y registro de oleaje y se termina el diseño de plataformas de compresión y habitacionales de Akal C, J, y Nohoch A⁴³.

⁴² <http://lastrestunas.blogspot.mx/2005/05/acuerdo-de-san-jose-1980.html>

⁴³ PEMEX, Memoria de Labores 1980, 1980.

En 1981 se observó una tendencia decreciente en el consumo mundial de petróleo, provocado en gran parte por el estancamiento económico de países industrializados y el nuevo boom de las fuentes alternas. En estos años se usaba el consumo de combustibles fósiles de manera irracional y sin medida.

En México el Presidente López Portillo fija en sus objetivos prioritarios el desarrollo de energéticos por medio de la exploración petrolera.⁴⁴ Por lo que se pide un préstamo al Fondo Monetario Internacional, con el acuerdo de ejercer un presupuesto reducido y mantener bajos los salarios.

Al arranque del gobierno de José López Portillo la deuda externa era de 21 mil millones de dólares, al finalizar dicha administración esta suma ya era de 76 mil millones de dólares. Esta problemática sería heredada por el ex presidente Miguel de la Madrid el cual al terminar su mandato dejó como uno de sus logros una deuda externa de 105 mil millones de dólares.

La otorgación de estos préstamos para auxiliar a la economía mexicana significó la imposición de durísimas condiciones para el gobierno por parte del Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Mundial (BM), representando ello el despliegue de una política que ya se ha extendido por más de un cuarto de siglo consistente en privatizar prácticamente toda la industria paraestatal, en bruscos recortes del gasto social, en la eliminación de prácticamente todos los subsidios para el campo y en una apertura comercial que tendría años después su principal expresión en el Tratado de Libre Comercio (TLC).⁴⁵

Como consecuencia de la crisis mundial se decide incrementar el volumen de producción de petróleo y calidad del crudo debido a dificultades en el mercado internacional.

⁴⁴ http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=38466&tabla=finanzas.

⁴⁵ Jiménez Ana, La crisis petrolera de 1982, La Economía, Febrero 2010.

Se determina que existe un volumen de reserva nacional de producción de aproximadamente 60 años.

En Cantarell se incrementó la inyección de agua en yacimientos con la finalidad de mantener su presión y elevar la recuperación de aceite. Como parte de la estrategia de explotación, y la cantidad de reservas de crudo en la sonda Campeche, fue necesario realizar estudios para procesar volúmenes mayores en el sistema de refinación de crudo pesado. Se diseñó el oleoducto Akal J y se realizó una revisión de la curva de expansión de una tubería vertical en Akal C y se inician trabajos de mantenimiento de la plataforma de compresión⁴⁶.

Para 1982 como consecuencia de la situación internacional del año anterior, ocurre un estancamiento económico en países industrializados y se registra una sobreoferta de petróleo.

En México se realizan actividades exploratorias encauzadas al descubrimiento de reservas de hidrocarburos, financiadas con el préstamo al Fondo Monetario Internacional que un año antes se firmó. Como parte de la participación internacional de México se prorroga el acuerdo San José.

En Cantarell se dispone de nueva información que anticipan incrementos en las reservas de Akal, por lo que se continúa con las operaciones de inyección de agua. Se termina la construcción de la plataforma de compresión en Akal J la cual aumenta su capacidad de producción hasta 360mp3d, además de instalarse un paquete de perforación en Akal R⁴⁷.

En 1982 procede una demanda internacional hacia PEMEX, debida al accidente del pozo Ixtoc-1 el cual provocó uno de los derrames más catastróficos

⁴⁶ PEMEX, Memoria de Labores 1981, 1981.

⁴⁷ PEMEX, Memoria de Labores 1982, 1982.

de esos años a finales de los noventa, la cual procede de la Corte del Distrito Norteamericano del sur de Texas.⁴⁸

En 1983 afortunadamente para la industria petrolera en el 2° semestre del año, se tuvieron signos de recuperación en los precios internacionales de petróleo, después de una baja de hasta 5 dólares por barril en el primer semestre.

En este año PEMEX comienza con la obligación de auxiliar al fisco en la recaudación del impuesto sobre el valor agregado y el impuesto especial sobre producción y servicios, así como al ajuste en general de su gasto público y a la reducción de su déficit fiscal.

Como parte de las actividades exploratorias encauzadas al descubrimiento de reservas de hidrocarburos, se realizan estudios, estructurales, estratigráficos y de correlación para definir los yacimientos existentes.

En el campo Akal, se concluyen las pruebas del simulador numérico TRIMPTRI (predicción del comportamiento de yacimientos de aceite negro) como parte del proyecto de optimización de Cantarell⁴⁹.

En 1984, a diferencia de 1983, en el último trimestre hubo un severo deterioro a los precios del crudo. Esto debido a que hubo violación en las cuotas de producción por parte de los países petroleros, además de descuentos, que desestabilizaron el mercado. A pesar de la baja en el precio, existe un crecimiento en la demanda reactiva la economía de países desarrollados, lo cual estabiliza ligeramente al mercado del crudo.

PEMEX toma una serie de medidas drásticas para compensar los problemas en el mercado mundial de petróleo, entre los cuales encontramos:

⁴⁸ Juste Ruíz, José, "La práctica internacional en materia de responsabilidad por accidentes industriales, catastróficos, Ed. Tirant Lo Blanch, 2001.

⁴⁹ PEMEX, Memoria de Labores 1983, 1983.

- Disminuye el volumen de inyección de agua en Cantarell.
- Actividades exploratorias encauzadas al descubrimiento de reservas de hidrocarburos.
- Se suspende la exportación de gas natural mexicano a EUA.
- No se maquila crudo en el extranjero.
- Se consolida el modelo de planeación financiera, el cual tiene la finalidad de prever las afectaciones financieras y presupuestales que pudiesen afectar al sistema⁵⁰.

Durante 1985 como parte de la nueva tendencia mundial se disminuye en 1% el consumo de petróleo en países pertenecientes a la OCDE. Además se restringe la producción en los países de la OPEP, y como consecuencia Arabia Saudita abandona su papel de productor de ajuste.

Se celebra el Acuerdo General de Aranceles y Comercio que trajo como consecuencia un entorpecimiento del comercio internacional debido a la rigidez que confirió tal sistema a los intercambios económicos; estos se rigieron por acuerdos entre naciones que fijaban las cantidades de producto comercializable (contingentes) y los aranceles aplicados fueron mas elevados⁵¹.

En Cantarell continua la disminución en el volumen de inyección de agua⁵² y los volúmenes de producción como se comportaron.

⁵⁰ PEMEX, Memoria de Labores 1984, 1984.

⁵¹ Martínez, Jaime. Ecuador, El GATT agropecuario y la OMC, 2000.

⁵² PEMEX, Memoria de Labores 1985, 1985.

Para 1986 debido a la inestabilidad en el crudo a nivel mundial se desploma el mercado petrolero mundial, como consecuencia el precio del barril disminuye en un 50%, de 53.12 dólares a 24.42 dólares.⁵³

Como parte del plan estratégico aplicado a Cantarell el volumen de inyección de agua se mantiene, y se realiza el primer análisis de suministro de gas para bombeo neumático en Cantarell, el cual tenía la finalidad de mantener los volúmenes de producción estables⁵⁴.

En 1987, el mercado petrolero internacional mostró estabilidad, a pesar del desplome del dólar y del conflicto Irán-Irak. Durante el primer semestre de este año el precio del crudo tuvo una tendencia ascendente, todo esto consecuencia de que en Julio EUA abanderó 11 tanqueros de Kuwait, lo que provocó que las empresas adquirieran crudo para almacenamiento estratégico, y que generó que los precios del crudo se elevaran.

En Cantarell el volumen de inyección de agua se mantiene. Se aplica mantenimiento preventivo en 20 plataformas de la sonda Campeche y se realiza una evaluación geológica de las formaciones de Chac⁵⁵.

En 1988 se presentó un exceso de oferta de petróleo el cual provocó baja en las cotizaciones, afectando sobretodo a Arabia Saudita, Kuwait y Emiratos Árabes, así como la falta de Irak en su cuota de producción. Para el segundo semestre Irán acepta la resolución de la ONU, sobre el cese de hostilidades con Irak, lo que trajo como consecuencia una pequeña recuperación en el mercado.

El Huracán Gilberto causa daños en la zona Norte lo cual crea una incertidumbre en el mercado petrolero de la misma zona.

⁵³ Cronología de las relaciones entre Europa Occidental y América Latina. Ed. Irela; 1987.

⁵⁴ PEMEX, Memoria de Labores 1986, 1986.

⁵⁵ PEMEX, Memoria de Labores 1987, 1987.

Continúa con el mantenimiento preventivo en plataformas de la sonda Campeche. Además se terminan de colocar los sistemas artificiales de explotación en Cantarell (bombeo neumático). En cuanto al porcentaje de perforación en Cantarell disminuye 4.3% en comparación con el año anterior.

Con las mejoras a Cantarell se logra una disminución en la generación eléctrica con la instalación del equipo planteado en los complejos Akal C, Akal J y Nohoch⁵⁶.

Para 1989 el mercado petrolero internacional se caracterizó por una fuerte volatilidad de precios con tendencia a la alza.

PEMEX crea una política de énfasis a las exportaciones dirigidas hacia países del Lejano Oriente.

Como parte de un examen en la revisión del régimen fiscal de PEMEX se detectaron incongruencias y efectos negativos para la labor empresarial, lo cual confirma la necesidad de plantear mejoras en este régimen.

Dentro de la falta para de exploración por parte de PEMEX, se obtuvo 25.9% menos de longitud perforada en comparación con el año anterior.

En Cantarell:

- Se implementan sistemas de deshidratación de gas en la plataforma de compresión Akal C.
- Se realizó un estudio del comportamiento de la producción a futuro de los pozos de Cantarell (tiempo de producción de pozos según su explotación).

⁵⁶ PEMEX, Memoria de Labores 1988, 1988.

- Para el proyecto de sistemas artificiales de explotación en Cantarell (bombeo neumático) se continuó con el desarrollo de ingeniería (Nohoch A).
- Se realizaron trabajos relativos al análisis hidráulico, de costos y evaluación económica de Cantarell.
- Se elaboró un plan integral para el diseño y construcción de instalaciones superficiales en Cantarell.
- Proyecto de Plataformas marinas en Akal N, y áreas de servicio en Nohoch A⁵⁷.

2.2 Evolución Histórica de Cantarell de 1991 al 2000

En 1990 por los conflictos bélicos, se observa una volatilidad extrema del mercado petrolero internacional, sobresaliendo el conflicto del Oriente Medio por la invasión armada de Irak a Kuwait (2 de agosto).

Continúa en el mismo nivel el porcentaje de inyección de agua y se incrementa el porcentaje de perforación a nivel nacional.

En el yacimiento Cantarell se concluye la ingeniería básica de adecuación de puentes de Akal C, Akal J y Nohoch, para comunicar de manera directa los complejos y eficientar el paso de equipo y mano de obra.⁵⁸

Para 1991 como consecuencia de los problemas bélicos del año anterior, el primer semestre ocurre la guerra del Golfo Pérsico, pero los precios del petróleo se mantuvieron estables. Pero en el segundo semestre, en noviembre se

⁵⁷ PEMEX, Memoria de Labores 1989, 1989.

⁵⁸ PEMEX, Memoria de Labores 1990, 1990.

presentaron incrementos continuos en el precio del crudo. Todos estos problemas de inestabilidad se vuelven más volátiles gracias a la desaparición de la Unión Soviética.⁵⁹

En los pozos de PEMEX a nivel nacional se incrementa de nuevo el volumen de agua inyectada.

En este años se comienza el planteamiento del Proyecto Cantarell, en el cual se tiene el objetivo de mantener el mayor tiempo posible los niveles de producción (1.2 mmbd).

Como parte de la mejora en la infraestructura de Cantarell se terminaron los oleogasoductos de Akal B, se realizó un incremento en la capacidad de deshidratación de gas de Akal C y se realizó una evaluación de daños de las plataformas de perforación Akal F, Q, C y Nohoch.⁶⁰

Para el periodo de 1992, durante el primer semestre el ambiente del mercado internacional de petróleo permanece estable. Pero para el segundo semestre se incrementó el precio del petróleo por diversos factores como contaminación bacteriana de cargamentos rusos de gasóleo, un terremoto en Sidi Kerir y el huracán que golpeó la costa del Golfo de los EUA.

Como parte de la nueva planeación estratégica de PEMEX, se expide la Ley orgánica de PEMEX y organismos subsidiarios (en Julio de 1992): la cual plantea la creación de PEMEX exploración y producción, PEMEX refinación, PEMEX-Gas y petroquímica básica y PEMEX petroquímica.

El yacimiento Cantarell presenta excelentes resultados, entre los que tenemos el pozo exploratorio Cantarell, además se termina la plataforma de

⁵⁹ <http://chss.montclair.edu/english/furr/gulfwar2.html>.

⁶⁰ PEMEX, Memoria de Labores 1991, 1991.

perforación Nohoch C, se comienza la mejora en el proceso de explotación con la finalidad de incrementar la producción de crudo pesado, esto mediante la exploración geológica de Chac. También se perforaron 16 pozos en el proyecto Cantarell y se terminaron 14, y en Akal un Oleogasoducto.⁶¹

En 1993 el mercado petrolero internacional hubo una alta volatilidad en los precios y su colapso en el tercer trimestre del año, lo cual provocó un debilitamiento en la demanda mundial de petróleo.

PEMEX incrementa los recursos asignados a Cantarell, como parte de la mejora de infraestructura se plantea un gasoducto marino que se instaló en Nohoch (se menciona que estas inversiones mantendrán el nivel de producción en los siguientes 2 o 3 años)⁶².

Para 1994 debido a los problemas acumulados en años anteriores el nivel de precios del petróleo registró su nivel más bajo en los últimos 5 años, en general, por el excedente de crudo a nivel mundial.

Se firma el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, entre Estados Unidos (EUA), Canadá y México, con la finalidad de reactivar la economía y promover la industria.

En México, PEMEX plantea especial atención a Cantarell para mantener el nivel de producción de crudo maya en la Sonda Campeche⁶³.

La evolución del mercado de petróleo mundial en 1995 tuvo un alza superior a lo esperado, pero sin presentar despuntes importantes.

⁶¹ PEMEX, Memoria de Labores 1992, 1992.

⁶² PEMEX, Memoria de Labores 1993, 1993.

⁶³ PEMEX, Memoria de Labores 1994, 1994.

Continúa la especial atención a Cantarell, como parte de este nuevo plan de desarrollo se creó la Región Marina Noreste (RMNE): Cantarell, Ku Maloob Zaap, etc. Dentro de este año y como consecuencia de la separación de regiones, la RMNE fue la más rentable generando el 74% de la producción nacional.

Los fenómenos naturales de los huracanes Opal y Roxanne provocaron daños en las instalaciones de la Sonda de Campeche, lo que conllevó a un descenso en la producción y pérdidas económicas significativas.

En la RMNE se implementó la técnica de bombeo electro centrífugo, la cual dio excelentes resultados. Además se habilita la rehabilitación de los complejos Akal C y J.

Se crea el grupo de empresas PMI Comercio Internacional S.A. de C.V., al cual se le da la responsabilidad de la comercialización de productos de PEMEX en el mercado internacional y la importación de los insumos requeridos por el organismo en los que la oferta interna son insuficientes.⁶⁴

A diferencia de varios años anteriores, 1996 se caracterizó por el incremento constante en el uso de petróleo a nivel internacional.

En México se incrementó el volumen exportado de petróleo hacia los Estados Unidos de América (EUA), dando fin a la política de diversificación de mercados establecida a principios de los ochenta.

La filial PEMEX exploración y producción dirigió sus inversiones hacia: incrementos en la producción, mejorar la cartera de proyectos y aumentar la confiabilidad del sistema de producción.

⁶⁴ PEMEX, Memoria de Labores 1995, 1995.

Se erogaron en Cantarell 1,375 millones de pesos (13.7 % del total de los proyectos estratégicos), además se reporta que Cantarell posee el 21% de las reservas estimadas (36% de producción nacional y 67% de exportación). Dentro de los programas de inversión destinados a este yacimiento encontramos:

- Adecuación de complejos centrales de producción Akal-Nohoch.
- La presión del yacimiento ha decaído paulatinamente durante sus 17 años de producción.
- Nuevo programa de explotación (modernizar y optimizar la infraestructura productiva del complejo).
- Programa de inyección de gas natural.
- La región marina noreste inició técnica y administrativamente operaciones (Cantarell).
- Se certificaron las reservas de Akal.

También se realizaron las siguientes licitaciones en concursos:

- Adaptación estructural de las plataformas de perforación Akal M y L.
- Separador de 2ª etapa en Nohoch A1.
- Turbocompresores en Akal J y C.
- Líneas adicionales y compresores para reinyectar gas en Akal C y J, Nohoch A.

- Plataformas periféricas en Cantarell.⁶⁵

En 1997 de nuevo el mercado del petróleo internacional tuvo un continuo debilitamiento, en gran parte debido por los incrementos de producción en varios países, lo cual generó un incremento en la oferta. Los países que incrementaron su producción fueron Venezuela, México, Mar del Norte, Golfo Pérsico, Arabia Saudita, Kuwait y Emiratos árabes.

Se plantea el gasto de inversión en proyectos estratégicos referido a Cantarell, decisión que lo posiciona como el proyecto más importante en PEMEX durante la siguiente década.

Se aprueban las inversiones bajo la modalidad de Proyectos de Infraestructura Productiva de largo plazo (PIDIREGAS), las cuales tienen la finalidad de modernización y optimización del Campo Cantarell.

De manera satisfactoria, Cantarell incrementa su producción de crudo tipo pesado, lo cual muestra el avance de los objetivos del proyecto integral de optimización y modernización.

Dentro del proceso de modernización de Cantarell se terminaron 19 pozos de aceite. Además se realizó la licitación y adjudicación para la construcción de una planta de nitrógeno en Atasta, pruebas de inyección de gas en pozos de Cantarell.

Como parte de la mejora continua de Cantarell, se realizaron las siguientes operaciones:

- Instalación de un separador de 2ª etapa en Nohoch A.

⁶⁵ PEMEX, Memoria de Labores 1996, 1996.

- Instalación de 4 turbocompresores en Akal J.
- Instalación de 3 líneas adicionales de inyección de gas que interconectan Akal C, J y Nohoch A.
- Instalación de plataformas periféricas en Cantarell.
- Interconexión de un separador en Akal C.⁶⁶

En 1998 para el mercado petrolero internacional, este fue un año muy complicado ya que se enfrentó el escenario más difícil de los últimos 12 años, debido a la disminución continua del precio internacional del petróleo.

En el caso de México se observó un incremento de producción nacional debido al resultado de las inversiones del Proyecto Cantarell, ya que incrementó su tasa media anual de producción de Cantarell de 1,067.4 mbd a 1,385.6 mbd de 1994 a 1998.

Continúan las actividades de perforación de desarrollo en Cantarell, la colocación de lechadas de cemento, así como los proyectos de optimización y modernización de Cantarell.⁶⁷

Para 1999, los precios de los crudos marcadores se situaron en el nivel más bajo de su historia, lo que forzó a una reducción en la oferta mundial. A nivel mundial, México tuvo un aumento de valor de las exportaciones de crudo nacional, en parte debido al crecimiento en la producción de crudo pesado, influenciado en gran parte por Cantarell.

⁶⁶ PEMEX, Memoria de Labores 1997, 1997.

⁶⁷ PEMEX, Memoria de Labores 1998, 1998.

Como parte del apoyo del gobierno mexicano, se incrementó el presupuesto aprobado por la H. Cámara de Diputados con respecto a los PIDIREGAS. Esto con la finalidad de dar un enfoque prioritario para los fondos destinados en Cantarell.

2.3 Evolución Histórica de Cantarell de 2000 al 2009

Se comienza la construcción del proyecto de la planta de inyección de nitrógeno, la cual tiene la finalidad de incrementar la producción de Cantarell, con miras a iniciar operaciones en abril de 2000, aumentando trimestralmente el volumen de nitrógeno inyectado.

Como parte de la mejora técnica de Cantarell se evalúan las cementaciones primarias de las tuberías de revestimiento en Cantarell, así como el modelo físico de un simulador de turbocompresores de gas.

Dentro de las Memorias de Labores de PEMEX, esta es la primera vez que se menciona el bloque autóctono Sihil (campo gigante) en las memorias y no es especificada ninguna característica, el cual brinda grandes recursos de volumen de aceite pesado a Cantarell.⁶⁸

Como parte del Plan Estratégico de PEMEX del 2001, se plantea la particular relevancia a la expansión de la producción de Cantarell. Como uno de los puntos se planea amortizar Cantarell por medio de PIDIREGAS. De esta forma comienza el Proyecto Integral Cantarell.

Con los recursos de inversión financiada destinados a este proyecto y la terminación de las obras del Plan de Contingencia Akal B, la construcción de los gasoductos que interconectan las plataformas Akal TM - Akal L; de Akal TJ - Akal

⁶⁸ PEMEX, Memoria de Labores 1999, 1999.

J; y de Akal KL - Akal L, así como del oleo gasoducto Kutz TA - Akal TJ, se incorporaron al proceso de producción 28 pozos terminados en 2001.

De esta forma Cantarell registró una producción de 1 699 Mbd de crudo y 621 MMpcd de gas, lo cual significó un aumento de 261 Mbd de crudo y de 70 MMpcd de gas natural, comparados con los obtenidos en 2000.

Asimismo, con la operación normal de la plataforma de servicio integral de compresión de gas amargo Akal GC, a partir del mes de septiembre, se redujo sustancialmente el envío de gas a la atmósfera en la Región Marina Noreste, de tal forma que se logró un índice de aprovechamiento del gas de 92.3%, 1.9 puntos porcentuales más que lo registrado en el año previo al disminuir el volumen de gas enviado a la atmósfera en 89 MMpcd. El objetivo es llegar a 98.0 por ciento de aprovechamiento, porcentaje considerado en los estándares internacionales.

Debido a la gran importancia de Sihil, se continua delimitando pozos dentro del área de éste: Cantarell 3068 y 1014.

Se incrementó la producción nacional de crudo por la construcción de gasoductos de interconexión de las plataformas Akal TM - Akal L; de Akal TJ – Akal J; y de Akal KL – Akal L; la del oleo gasoducto Kutz TA – Akal TJ y la conclusión de obras contempladas en el Plan de Contingencia en la plataforma Akal B en Cantarell.

Por medio de PIDIREGAS se plantea financiar las inversiones relacionadas con Cantarell, además de la obtención de recursos a través de la colocación de bonos, créditos sindicados y bancarios⁶⁹.

En el 2002 existe una gran debilidad en la economía mundial, lo que creo sobreoferta y acumulación de inventarios en el crudo.

⁶⁹ PEMEX, Memoria de Labores 2001, 2001.

Continuando con el proyecto de la planta de inyección de Nitrógeno, se realiza la determinación de los coeficientes de difusión de nitrógeno para Cantarell.

Se realizó la caracterización geológica y petrofísica de los campos Cantarell. Además de estudios de recuperación mejorada y análisis de trazadores, particularmente relacionados con la inyección de nitrógeno en Cantarell.

Con PIDIREGAS implementaron en Cantarell 8 gasoductos, 3 oleoductos, una línea de bombeo neumático, 3 quemadores y 14 pozos de desarrollo.

Se incremento en la producción de crudo pesado por inversiones previstas en el complejo Cantarell, los cuales se fortalecieron con la incorporación del bloque Sihil.⁷⁰

Para el 2003 se plantea transformar a PEMEX en una empresa moderna e integrada para que siguiera estando considerada dentro de las empresas petroleras más importantes del mundo.

Las inversiones aplicadas en los últimos 4 años (mejoras estructurales, investigación de recuperación mejorada, planeación estratégica, etc.) colocan a Cantarell como el activo más importante a nivel nacional.

Realizando una comparación con la producción del 2002 con el 2003 se incremento 12% la producción de Cantarell.

Se finalizó la construcción de tres plataformas de producción y compresión en Akal B. Además de finiquitar la terminación de ingeniería y elaboración de documentos de procura y asistencia técnica de la plataforma Akal L.

⁷⁰ PEMEX, Memoria de Labores 2002, 2002.

PEMEX seguía dando prioridad e importancia a Sihil, el cual produjo 34.3 millones de barriles debido a la perforación de pozos de desarrollo.⁷¹

El mercado petrolero internacional en el 2004 enfrentó una serie de circunstancias que ocasionaron una alta volatilidad en los precios del petróleo, ubicándose en niveles que no se tenían desde la década de los ochenta.

A través del Pemex Project Funding Master Trust, en 2004 se captaron 1,399 millones de dólares a través de las líneas de crédito aseguradas por Agencias de Crédito a la Exportación (ECA's), los cuales fueron garantizados por PEMEX. Todos estos recursos se destinaron en gran parte al Proyecto Cantarell.

Continúa la inyección de Nitrógeno como parte de la recuperación mejorada en Cantarell. Además se finalizó la construcción de la planta para eliminación de nitrógeno del gas producido en Cantarell mediante un proceso criogénico.

Al Proyecto Integral Cantarell se destinaron 26,341 millones de pesos, 5.5% más en términos reales que en 2003. Con esta inversión se aprobaron 14 localizaciones y se terminaron tres pozos exploratorios, 22 de desarrollo, dos gasoductos, cuatro oleo gasoductos, una plataforma de perforación y una línea de bombeo neumático, además de diversos trabajos en plataformas.

Con las inversiones realizadas en Cantarell se busca:

- Incorporar reservas adicionales de hidrocarburos.
- Incrementar la producción de crudo pesado y gas natural.
- Lograr el aprovechamiento íntegro del gas natural.

⁷¹ PEMEX, Memoria de Labores 2003, 2003.

- Aumentar la confiabilidad y eficiencia operativa de las instalaciones.

En Cantarell destacan la perforación de pozos y la continuación del mantenimiento de presión con inyección de nitrógeno.

La importancia de Cantarell se hace notar al aportar 83.3 % de producción de crudo en la Región Marina Noreste (RMNE).

Se implementa el Proyecto Integral Antonio J. Bermúdez busca maximizar la explotación de los yacimientos que lo integran mediante la inyección de nitrógeno para mantener la presión, la realización de reparaciones mayores y la conversión del sistema de bombeo neumático⁷².

En el 2005 los precios internacionales del petróleo continuaron con una clara tendencia al alza, iniciada en 1999, después de que desde los últimos meses de 1997 y hasta finales de 1998, la industria petrolera había atravesado por una de las etapas más críticas de su historia reciente.

El Proyecto Integral Cantarell, el de mayor monto de inversión a nivel nacional, recibió un total de 24,893 millones de pesos, 14% menos en términos reales que en 2004.

Se inició la construcción de una planta para eliminar nitrógeno del gas natural, la cual permitiría eliminar el nitrógeno contenido en el gas natural procedente de Cantarell. Se tiene programado que la planta iniciara operaciones en el primer semestre de 2007.

⁷² PEMEX, Memoria de Labores 2004, 2004.

Se produjo 1.5% menos petróleo crudo debido a un desplazamiento mayor de lo previsto, del contacto gas-aceite en pozos del campo Akal del Activo Cantarell (de 1,988 mbd a 2,006.7 mbd).

Cantarell aportó 61.1% de la producción total de crudo, 2.1 puntos porcentuales menos que en 2004, y como consecuencia Cantarell aportó 86.4 % de la producción total de la RMNE.

Para alcanzar volúmenes más altos de producción de los diferentes tipos de crudo, además del proyecto Integral Cantarell, continúan en desarrollo proyectos como Ku-Maloob-Zaap, Crudo Ligero Marino y Lankahuasa.

Para mantener la producción del campo Cantarell, PEMEX continuó realizando inversiones cuantiosas en perforación, reparación y mantenimiento de pozos, además de inyección de nitrógeno.

Ocurrieron retrasos en los niveles de operación programados de la plataforma de endulzamiento Akal C.⁷³

Para el 2006, el mercado petrolero internacional experimentó cambios significativos, dentro de una clara tendencia a la alza, conforme a su propia complejidad y dinamismo que le permite la condición de amplia volatilidad de los precios del petróleo crudo.

La producción total de petróleo crudo fue de 3,255.6 mbd, 2.3% menor que en 2005, debido a la caída importante del tipo pesado, atribuible entre otras causas a la declinación natural del campo Cantarell. Además la producción de crudo pesado observó una baja de 6%, resultado de la declinación de Cantarell.

⁷³ PEMEX, Memoria de Labores 2005, 2005.

Con las inversiones realizadas, principalmente en Cantarell, de 1998 al 2004, se tuvieron producciones históricas de crudo pesado, alcanzando el volumen anual más alto en 2004.

En Cantarell se terminaron dos ductos, seis plataformas, 15 pozos de desarrollo, todos ellos productores, y se realizaron 84 intervenciones a pozos. En este proyecto se ejerció un total de 25 604 millones de pesos, 1.6 por ciento menos en términos reales que en 2005.

Con el propósito de administrar en forma eficiente la declinación de Cantarell y mantener su producción arriba de 1.2 millones de barriles de petróleo crudo diarios, en el 2006 PEMEX analiza en el área de exploración probar nuevos horizontes; en desarrollo define estrategias diferenciadas de explotación, según las condiciones geológicas del yacimiento; en explotación incorpora nueva infraestructura para el manejo de agua y sal, así como desarrolla esquemas para el manejo de nitrógeno; e incluye perforación de pozos no convencional⁷⁴.

En la última década, el mercado petrolero internacional se ha caracterizado por la tendencia alcista del precio de los principales crudos marcadores, con máximos históricos que son superados en periodos muy cortos.

En el 2007 PEMEX Exploración y Producción desarrolla un programa de inversiones amplio que aplica a toda la cadena de valor de su proceso. Este programa se lleva a cabo bajo la premisa de equilibrar la extracción de hidrocarburos con la incorporación de reservas, con especial énfasis en los campos en explotación de petróleo crudo que se encuentran en su etapa natural de declinación, siendo el más importante Cantarell.

Se plantea administrar en forma eficiente la declinación de Cantarell, con el propósito de mantener su producción alrededor de 1.1 millones de barriles diarios

⁷⁴ PEMEX, Memoria de Labores 2006, 2006.

de petróleo crudo. Se terminaron 23 pozos de desarrollo, de los cuales 22 resultaron productores de aceite y uno fue invadido de agua salada; se realizaron 106 intervenciones a pozos; se construyeron siete ductos y una plataforma. En este proyecto se ejerció un total de 30 218.1 millones de pesos, 13.5 % mayor en términos reales que en 2006.

Se desarrollo del proyecto de deshidratación, que consistió en separar, manejar y disponer la producción de agua de algunos pozos de Cantarell.

Iniciaron los trabajos correspondientes para la deshidratación del crudo pesado y arrancó la planta de deshidratación de Nohoch-A que incorpora los primeros pozos con problemas de agua.

Se realizó la perforación de pozos no convencionales para alargar la vida productiva de los pozos y mejorar la distribución del drenado del fluido dentro de Cantarell.

Se formó el Grupo Estratégico Cantarell que tiene por objetivo generar un portafolio robusto de oportunidades a corto plazo, técnica y económicamente sustentable, que permita explotar en forma óptima la reserva remanente de aceite, y establecer oportunidades a mediano y largo plazo que mejoren el factor de recuperación del hidrocarburo.

La producción de petróleo crudo fue de 3,081.7 mbd, volumen menor en 5.3% respecto al año anterior, este comportamiento resultó principalmente al avance del contacto agua-aceite que se presentó en Cantarell.

La producción del Activo Integral Cantarell, disminuyó 16.9% respecto a 2006. Además se incrementó la producción de pozos con alta relación gas-aceite⁷⁵.

⁷⁵ PEMEX, Memoria de Labores 2007, 2007.

Una de las acciones más importantes en el 2008 fue la creación la Comisión Nacional de Hidrocarburos, la cual tiene la función de regular y supervisar la explotación y extracción de hidrocarburos.

Se realizó el pago de 1,115.9 millones correspondiente a los pagos de suministro de nitrógeno para el programa de mantenimiento de presión del campo Cantarell.

Dentro de los planes de distribución de ingresos, lo destinado a la producción primaria toda la inversión se sitúa básicamente en Cantarell.

Además en los pozos de Cantarell se terminaron dos gasoductos y un oleogaseoducto. Y dentro de su infraestructura se utilizan 2 equipos de compresión para inyectar gas al yacimiento e incrementar el aprovechamiento de gas.

En marzo de 2008, inició operaciones la planta eliminadora de nitrógeno con capacidad de 630 millones de pies cúbicos diarios en el Complejo Procesador de Gas Ciudad Pemex. Esta planta permitió eliminar el nitrógeno contenido en el gas asociado producido en Cantarell; apoyó el proceso de extracción del crudo producido en este activo mediante bombeo neumático, además de cumplir con la NOM-001-SECRE-2003 que regula la calidad del gas natural para su venta.

La producción de gas natural asociado de la Región Marina Noreste presentó un alto contenido de nitrógeno debido a la mayor producción de pozos cercanos a la zona de transición del campo Cantarell.

Se pretende desarrollar procesos para desplazar agua, de los pozos invadidos en Cantarell, a su posición original para recuperar parte del volumen de crudo almacenado en la matriz del yacimiento. Además se comienza a aplicar técnicas de deshidratación y desalinización del crudo producido, lo cual permite la

apertura de pozos estrangulados por problemas de calidad y el manejo de la producción con alto contenido de agua costa fuera. Y se instalan turbocompresores para enviar más gas a proceso e inyectar gas al yacimiento. De igual forma, se construye infraestructura para la inyección de gas al yacimiento.

La producción del Activo Integral Cantarell disminuyó de 1,261.2 mbd en diciembre de 2007 a 852.9 mbd en diciembre de 2008. Esto se debió principalmente a la declinación del campo, así como a los avances de los contactos gas-aceite y agua-aceite en el yacimiento.

La decisión de explotar la zona de transición en Cantarell, antes de contar con la infraestructura para reinyectar el gas, se fundamenta en la generación de mayor valor. Extraer el crudo de esa zona y enviar gas a la atmósfera, genera un valor mayor en comparación con la opción de cerrar dicha producción. Si bien la opción que maximiza el valor económico de la explotación es reinyectar el gas producido, la mejor alternativa en ausencia de la infraestructura necesaria es la extracción del crudo y el envío del gas a la atmósfera.

Al cierre del año la capacidad de inyección era de 650 millones de pies cúbicos diarios de gas amargo, debido a la entrada en operación de los compresores de alta presión en Akal C y Akal G.⁷⁶

Cantarell desde el 2004 inició su etapa de declinación, sin embargo, en el 2009 los recursos generados con su explotación continúan creando valor, con una producción en 2009 de 204.5 millones de barriles de petróleo crudo y 332.6 millones de pies cúbicos de gas natural hidrocarburo.

Del Fondo de Ingresos Excedentes (FIEX), se erogaron 395.3 millones de pesos, principalmente en el Proyecto Cantarell.

⁷⁶ PEMEX, Memoria de Labores 2008, 2008.

En el proyecto Integral Cantarell, se ejercieron 54,535.3 millones de pesos y destaca la terminación de seis plataformas recuperadoras de pozos tipo tetrápodo (Akal-TE, Akal-TTJ, Akal-TO, Akal-TPGZ, Akal-TR y Akal-MA), y 13 pozos de desarrollo.

Cantarell produjo 684.8 mbd, cantidad 34.1% (354.7 mbd) menor a la de 2008.

Se plantea incrementar la capacidad de inyección de gas amargo al campo Cantarell de 350 millones de pies cúbicos diarios a 1,230 millones.

En cuanto el tema de la ecología, Cantarell aportó 82.5% de Dióxido de Carbono del contaminante del total del organismo subsidiario, las emisiones de este compuesto por parte del organismo subsidiario disminuyeron 10% con respecto a 2008, debido principalmente a la reinyección de gas amargo con alto contenido de nitrógeno y a la reducción de su quema en el Activo Integral Cantarell a partir de diciembre de 2008.

Además se plantea la recuperación de calor en los escapes de la turbomaquinaria en centros de proceso Cantarell⁷⁷.

En suma resumiendo los años mencionados anteriormente, podemos concluir que:

En Cantarell encontramos 3 etapas que lo caracterizan:

- La primera se ubica entre 1979 a 1996, esta etapa se caracteriza por Akal (1979) en el cuál se comienza la explotación del yacimiento.
- La segunda se ubica entre 1997 al 2005 esta etapa se basa en el incremento de las inversiones realizadas a la explotación del yacimiento y actividades de desarrollo que se implementan.

⁷⁷ PEMEX, Memoria de Labores 2009, 2009.

- Y la tercera que plantea una recuperación mejorada debida a la declinación natural del yacimiento, esta etapa corresponde del 2006 a la fecha.

En la segunda etapa PEMEX se comenzó a preparar para la declinación natural de Cantarell, implementando la inyección de nitrógeno con la finalidad de mantener la presión del yacimiento y evitar la caída de la producción⁷⁸.

Cabe mencionar que en la tercera etapa se realizó la planificación de las estrategias a implementar, tales como actualizar el proyecto por medio de la incorporación de nuevas tecnologías de explotación para mejorar los factores de recuperación y aumentar los niveles de producción.

La producción de Cantarell desde 1979 al 2009 está estimada en 30 mil millones de barriles de petróleo crudo, situación que ha permitido captar enormes recursos para el país⁷⁹.

Dentro de las inversiones realizadas a Cantarell de 1979 a 1999, observamos que estaban dirigidas a mantener el yacimiento de manera correcta y a largo plazo. Del 2000 al 2004 la implementación de infraestructura estaba destinada a aumentar la niveles de producción. Decisiones que a la fecha son las causantes del declive precipitado de Cantarell y de la producción nacional.

Las decisiones que generaron mas controversia en Cantarell fue la construcción de la planta de inyección de nitrógeno. En su gran parte los analistas plantearon que no era momento de comenzar este tipo de recuperación mejorada, pero el gobierno decidió construirla con la finalidad de aumentar los niveles de producción nacional de crudo.

⁷⁸ Peláez Zapata, Rubén, Cantarell ayer y hoy ... , 2009.

⁷⁹ www.pemex.com.

Como se mencionó anteriormente durante los primeros años del proceso de inyección se aumentó la producción en Akal de manera importante, hasta llegar a volúmenes que representaron el 3% de la producción mundial en el 2004.

Al llegar al 2005, se presentaron algunos problemas estructurales en Cantarell, comenzaron a invadirse los pozos con agua, fracturas en la roca productora, contaminación del crudo y gas con nitrógeno, e incluso hubo quejas por parte de los pescadores de la zona que argumentaban contaminación en la zona con nitrógeno. Además del costo de la llamada “planta de nitrógeno más grande del mundo”, el costo de mantenimiento fue enorme y se compraba en nitrógeno a la misma empresa que construyó la planta.

Al final con la inyección de agua, gas y nitrógeno, la calidad del petróleo obtenido en Cantarell decayó y de manera irónica provocó que se tuviera que adquirir una planta para eliminar el exceso de nitrógeno en el gas que se obtiene de sus pozos.

Capítulo 3: Características Generales del Campo Cantarell.

El Complejo Cantarell es considerado uno de los más importantes a nivel mundial, ubicándose en segundo lugar, tan sólo superado por el Complejo Ghawar, en Arabia Saudita, situación que podemos observar en la tabla 3.1. Es el segundo campo petrolero del tipo costa afuera más grande del planeta, superado por el campo mexicano del mismo tipo Ku Maloob Zaap en 2009, generó durante décadas las dos terceras partes del petróleo que se produce en México, lo que ha representado una gran fuente de riqueza para el país⁸⁰.

Tabla 3.1: Principales campos petroleros a nivel mundial

| Pozo | País | Inicio de explotación | Reserva original (mmbpce) |
|------------|----------------|-----------------------|---------------------------|
| Ghawar | Arabia Saudita | 1948 | 83 |
| Burgan | Kuwait | 1938 | 72 |
| Bolivar C. | Venezuela | 1917 | 32 |
| Safaniya | Arabia Saudita | 1951 | 30 |
| Tengiz | Kazajstan | 1979 | 26 |
| Cantarell | México | 1976 | 20 |
| Rumailia | Iraq | 1953 | 20 |
| Ahwaz | Irán | 1958 | 17 |
| Daqing | China | 1959 | 16 |
| Kirkuk | Iraq | 1927 | 16 |

Fuente: Gibson Consulting⁸¹

⁸⁰ PEMEX, Reservas de hidrocarburos 2010.

⁸¹ www.gibsonconsulting.com.

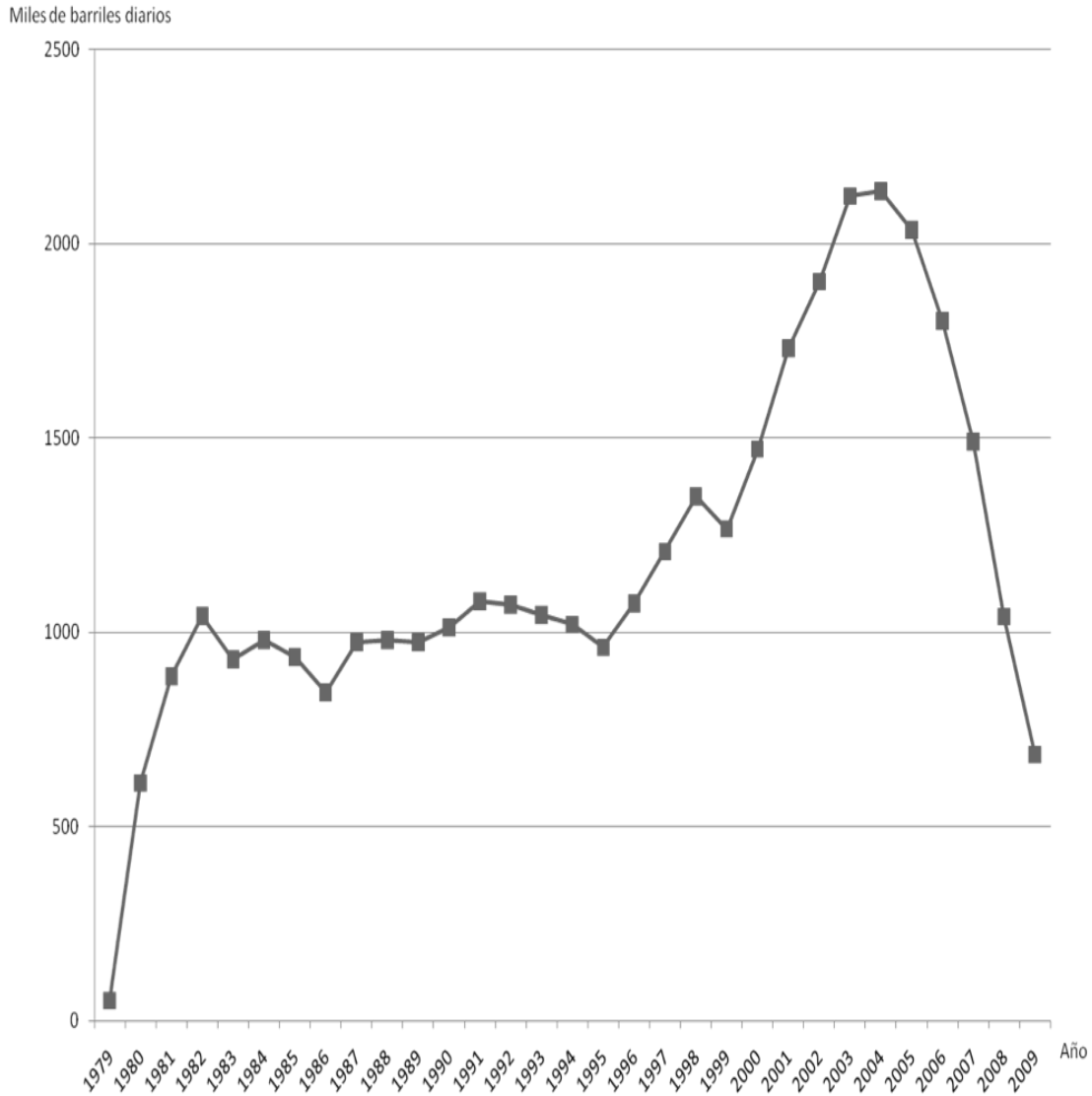
Es importante mencionar que debido a que Cantarell se encuentra en un proceso de declinación natural a finales de los noventas, PEMEX se ve obligado a iniciar nuevos proyectos estratégicos de desarrollo dentro de su plan de negocios, los cuales actualmente son⁸²:

- Aguas profundas.
- Cantarell.
- Incorporación de reservas.
- Ku Maloob Zaap.
- Lakach.
- Nuevos descubrimientos.
- Proyecto Burgos.

3.1 Volúmenes de producción en Cantarell

Analizando los volúmenes de extracción de Cantarell desde 1979, en la figura 3.1 podemos observar que su variación es irregular y su patrón de volúmenes de producción no concuerda con los patrones normales de declinación de un yacimiento:

⁸² Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell.

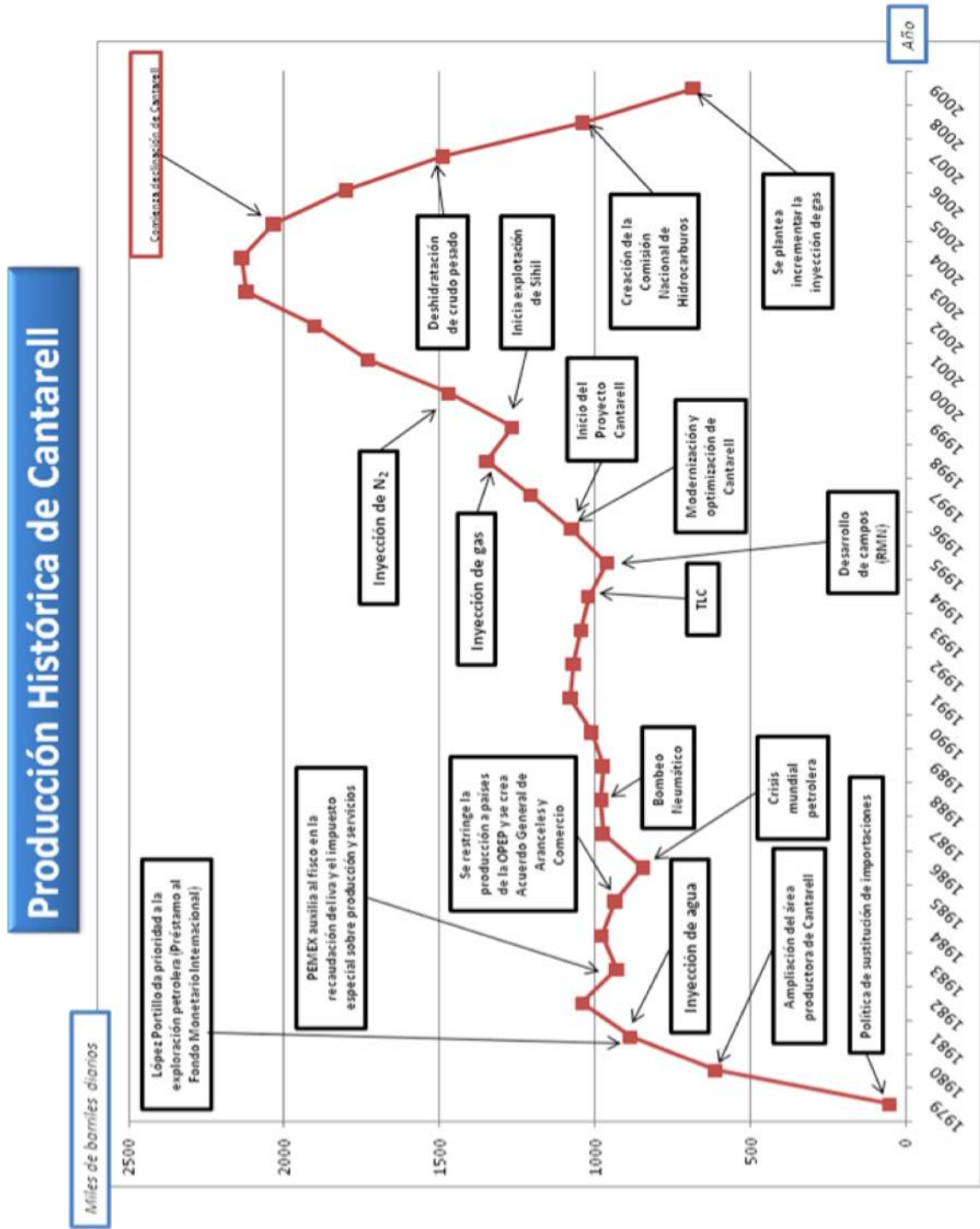


Fuente: PEMEX⁸³.

Figura 3.1: Evolución histórica de la producción de crudo en Cantarell.

La producción de Cantarell se ha visto afectada a través de los años por diversos factores económicos, tecnológicos y bélicos, en la figura 3.2 se observa la evolución histórica de la producción y los factores más representativos:

⁸³ PEMEX, Memorias de Labores de 1979 a 2009.



Fuente: PEMEX⁸⁴.

Figura 3.2: Evolución histórica de la producción de crudo en Cantarell y los diferentes factores que influyeron en su producción.

⁸⁴ Ídem.

Al observar la figura 3.2, se observa que el entorno que tuvo Cantarell se vio afectado por variables de todo tipo, económicas, políticas, tecnológicas, etc., por lo que se debe de tomar como factor principal que la declinación de Cantarell se vio afectada en gran parte por la forma irracional a la que se sometió este patrimonio petrolero ^{85,86}.

En algunas de las perforaciones realizadas se observó pérdida de lodo utilizado en su perforación, esta pérdida es la prueba de que existía la presencia de fracturas o cavernas en los pozos. De manera irresponsable se tomó la decisión de cerrar los pozos sin analizarlos de manera debida, ni profundizarlos correctamente⁸⁷.

El descenso en la producción en Cantarell ha sido compensada por otros yacimientos, pero es necesario tomar una decisión acerca de que tan viable es la recuperación de Cantarell, desde el área económica, política, financiera, etc.⁸⁸.

La producción nacional de Cantarell, tiene una relevante importancia la cual es plasmada en sus cifras de la tabla 3.2:

Tabla 3.2: Principales volúmenes de producción de Cantarell

| Año | Producción (mbd) |
|------|------------------|
| 2000 | 1,811.6 |
| 2001 | 1,931.9 |
| 2002 | 1,997.8 |

⁸⁵ Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell.

⁸⁶ Garaicochea Petrirena, Francisco, La explotación irracional de Cantarell, su origen, su costo y como evitarla.

⁸⁷ Ídem.

⁸⁸ Lajous, Adrian, El Ocaso de Cantarell, 2009.

| | |
|------|---------|
| 2003 | 2,211.1 |
| 2004 | 1,988 |
| 2005 | 2,006.7 |
| 2006 | 1,506.6 |
| 2007 | 1,261.2 |
| 2008 | 852.9 |
| 2009 | 599 |
| 2010 | 522.3 |
| 2011 | 460.7 |

Fuente: PEMEX⁸⁹.

Podemos observar que en la última década Cantarell obtuvo volúmenes enormes, y que la producción nacional se mantuvo gracias a estas cantidades de extracción. De igual forma haciendo una comparación de los volúmenes de producción por década (tabla 3.3), del 2000 al 2010 representó más del 50% del volumen nacional.

Tabla 3.3: Evolución del porcentaje de Cantarell a nivel nacional.

| Periodo | Porcentaje de producción de Cantarell en México |
|-----------|---|
| 1980-1989 | 36.7 % |
| 1990-1999 | 40.8 % |
| 2000-2010 | 56.8% |

Fuente: PEMEX⁹⁰.

Esto quiere decir que durante desde 1980 al 2010, Cantarell aportó la mayor parte de la producción nacional, situación que trajo como consecuencia que

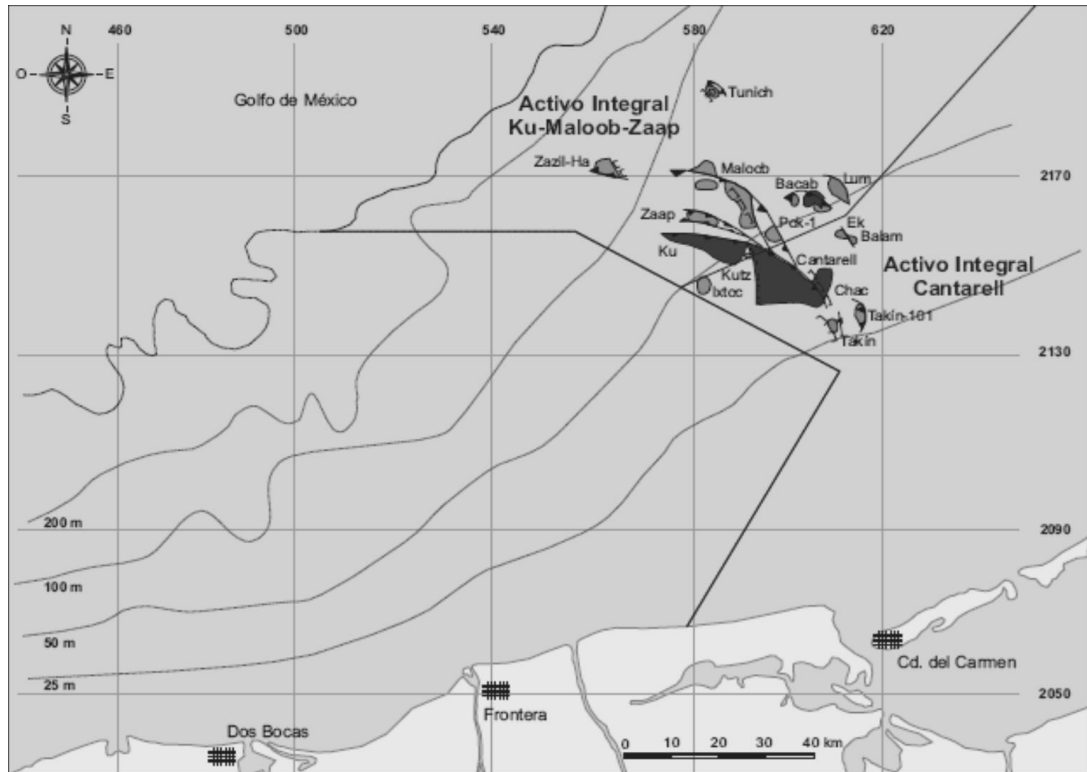
⁸⁹ www.sie.com.

⁹⁰ www.pemex.com, Cantarell: pasado, presente y futuro.

durante los últimos años PEMEX ha tenido un significativo descenso en la producción.

3.2 Ubicación geográfica:

Cantarell se encuentra en el área de la plataforma continental del Golfo de México, aproximadamente a 90 km de Ciudad del Carmen, Campeche (figura 3.3), y su área es de 134 km² .⁹¹, aproximadamente entre las isobatas de 35 y 40 metros⁹².



Fuente: PEMEX⁹³.

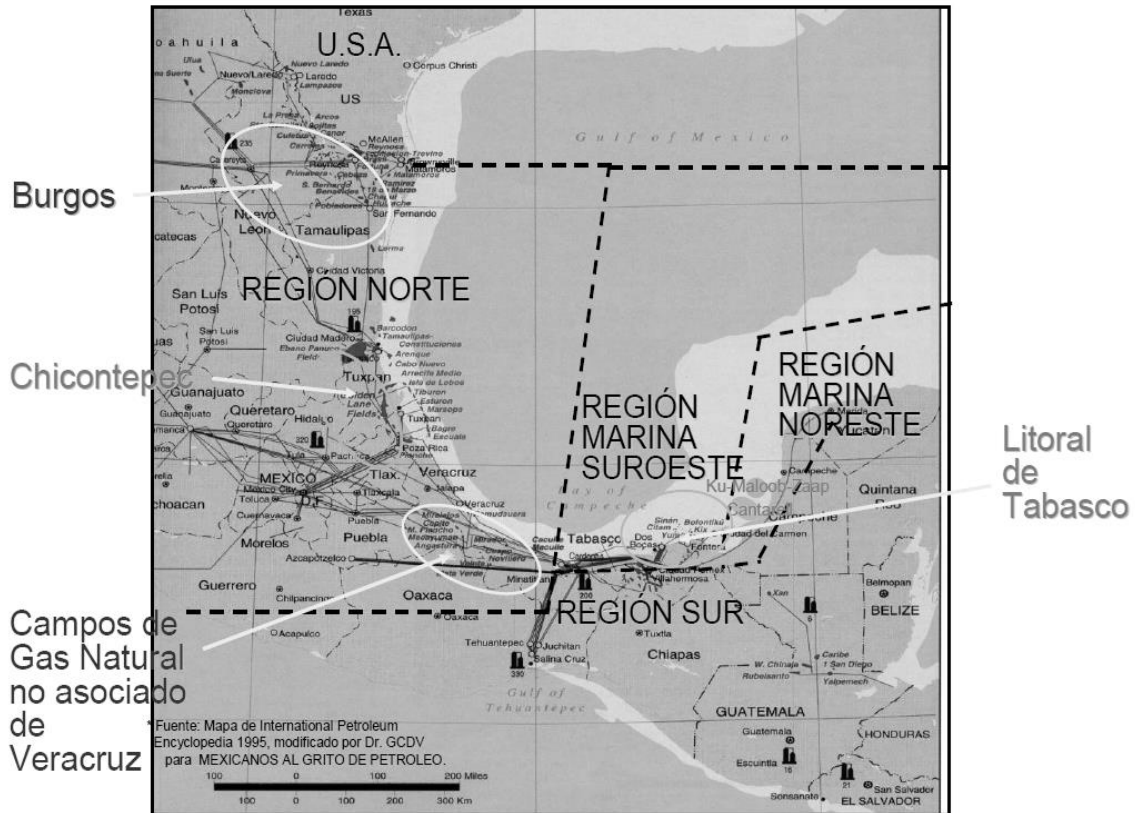
Figura 3.3: Ubicación geográfica de Cantarell.

⁹¹ PEMEX, Peralta Mario, “Cantarell: su historia y situación actual”, 2007.

⁹² www.pemex.com.

⁹³ PEMEX, Reservas de Hidrocarburos en México, 2007.

Cantarell se localiza dentro de la Región Marina Noreste (RMNE), esta región se encuentra en aguas territoriales nacionales frente a Campeche, Yucatán y Quintana Roo (figura 3.4). Abarca un área de 166 000 km², y encontramos parte de plataforma continental y del talud del Golfo de México⁹⁴.



Fuente: PEMEX⁹⁵.

Figura 3.4: Distribución geográfica de las regiones de la zona del Golfo de México.

Aproximadamente desde hace 3 décadas la RMNE ha sido el centro de atención de la industria petrolera mexicana, se considera que esta región produce

⁹⁴ Garaicochea Petrirena, Francisco, La explotación irracional de Cantarell, su origen, su costo y como evitarla,

⁹⁵ Comisión Nacional de Hidrocarburos, Factores de recuperación de aceite y gas en México, 2010.

más que el conjunto de pozos de la sección correspondiente a Estados Unidos de América en la zona del Golfo de México⁹⁶.

Dentro de esta región encontramos el segundo yacimiento más importante de México: Ku Maloob Zaap, durante algunos años se creía que sería el sucesor de Cantarell, aunque a la fecha no ha podido alcanzar los niveles de producción de éste⁹⁷.

Se han encontrados varios campos nuevos en esta zona, que aunque hasta el 2007 se encontraban inactivos, son viables de ser explotados.⁹⁸

El Proyecto Cantarell fue presentado por primera ocasión en Julio de 1996, lo cual conllevó a realizar diferentes aspectos del comportamiento del yacimiento, tomando en cuenta también la ingeniería conceptual para la estructura completa del yacimiento y su superficie (figura 3.5)⁹⁹.

3.3 Estructura geológica local de Cantarell:

La evaluación geológica de Cantarell se ha llevado a cabo desde 1979, todo esto debido a que desde ese año ya se sabía del potencial petrolero de Cantarell. Con el paso de los años los estudios geológicos que se aplicaron a Cantarell fueron más modernos y específicos. Para la interpretación de la sísmica y geología, en Julio de 1996, que posiblemente es la interpretación más importante desde 1979 a la fecha, Pemex Exploración y Producción contrató a Western Atlas Internacional, para levantar 620 Km² de datos sísmicos tridimensionales de Cable de Fondo del Océano (OBC) con sensores dobles a través del Complejo Cantarell¹⁰⁰.

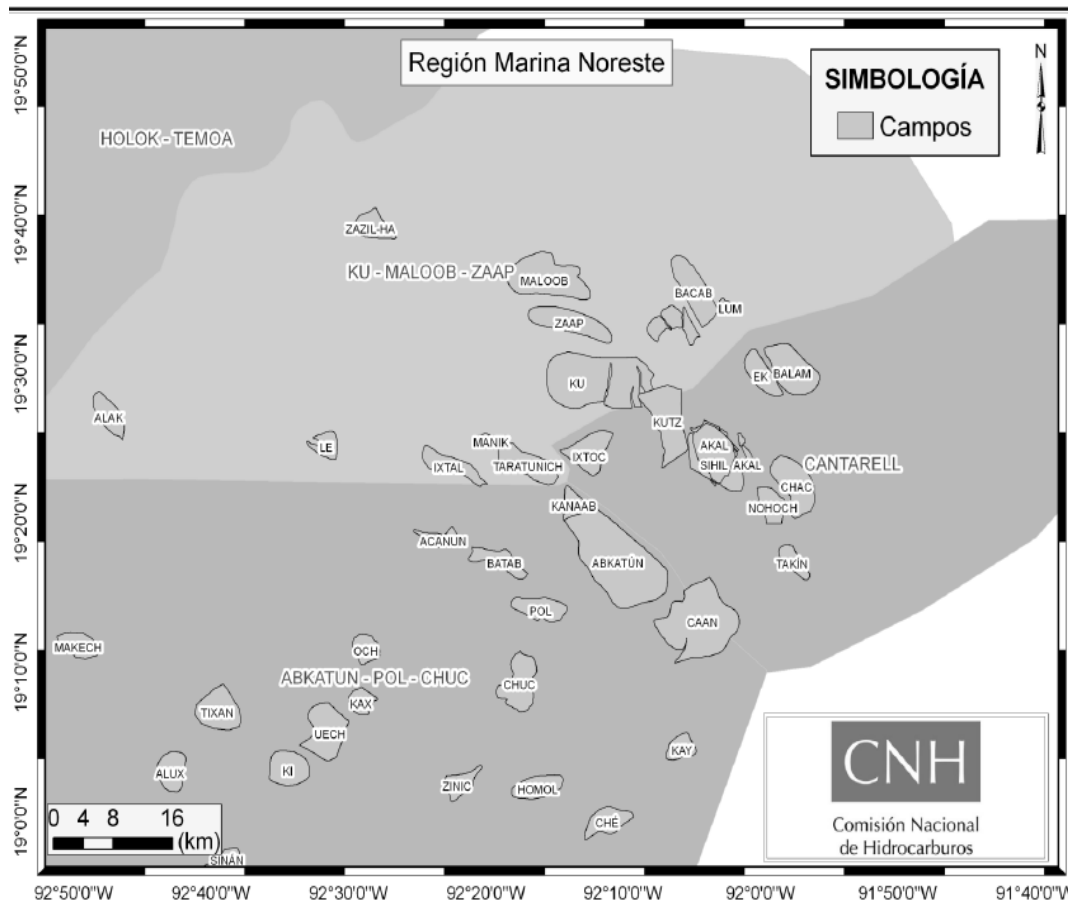
⁹⁶ Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell.

⁹⁷ Barbosa Cano, Fabio, Éxitos y problemas en el Golfo de México, 2007.

⁹⁸ PEMEX, Memoria de Labores 2007, 2007.

⁹⁹ PEMEX, Proyectos de Petróleos Mexicanos, 2009.

¹⁰⁰ Comisión Nacional de Hidrocarburos, Factores de recuperación de aceite y gas en México, 2010.



Fuente: PEMEX¹⁰¹.

Figura 3.5: Pozos de la Región Marina Noreste.

Estos campos se encuentran caracterizados por tener trampas de tipo estructural con espesores de más de 300 metros de roca productora, y constan de tirantes de 30 a 50 metros¹⁰².

3.4 Campos que conforman Cantarell

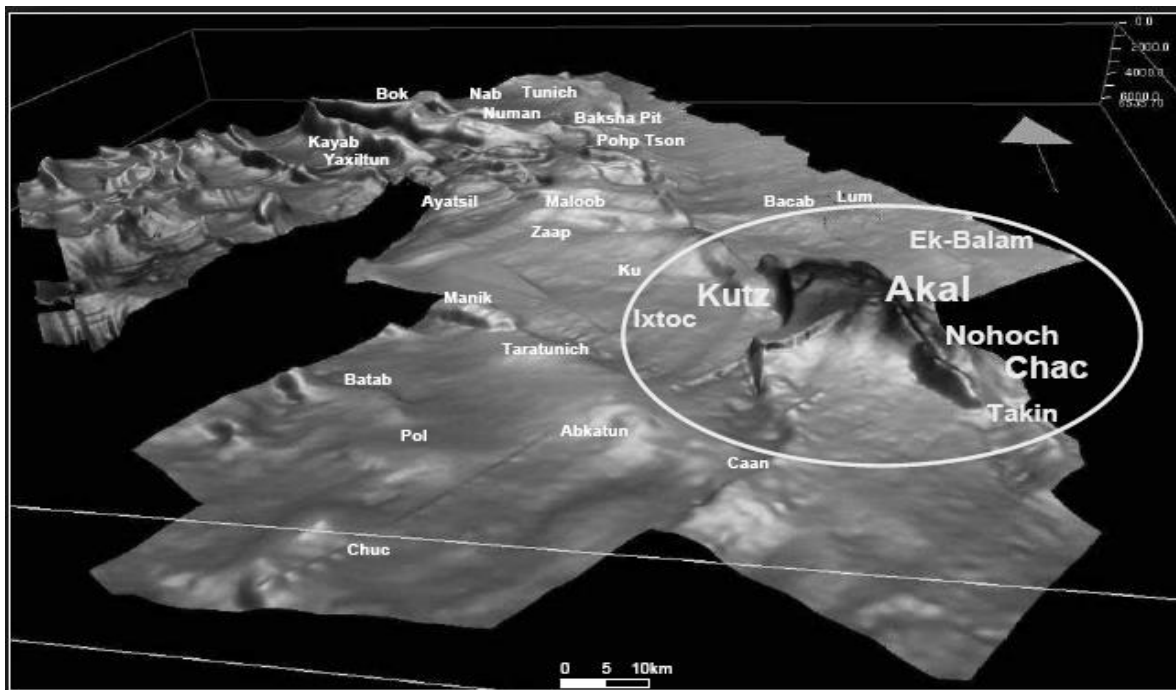
Cantarell se encuentra conformado por varios campos los cuales son: Akal (considerado el de más importancia debido a que contiene el 92% de volumen

¹⁰¹ Ídem.

¹⁰² PEMEX Exploración y producción, Reservas de Hidrocarburos, 1999.

original y representa aproximadamente el 98% de la producción de Cantarell), Nohoch, Chac, Kutz, Ixtoc y Sihil. Aunque cabe mencionar que en el año 1999 se incorpora Sihil, y en el 2003 se integra los campos Kambesah y Ek Balam (figura 3.6) ¹⁰³.

En la figura 3.7 se puede observar un cuadro tridimensional de Cantarell, en el cual destacan las formaciones geológicas de Akal, Nohoch, y Kutz. La imagen muestra en un plano de vista superior, las divisiones por regiones, así como el número de plataformas que se encuentran en cada bloque hasta el 2004.



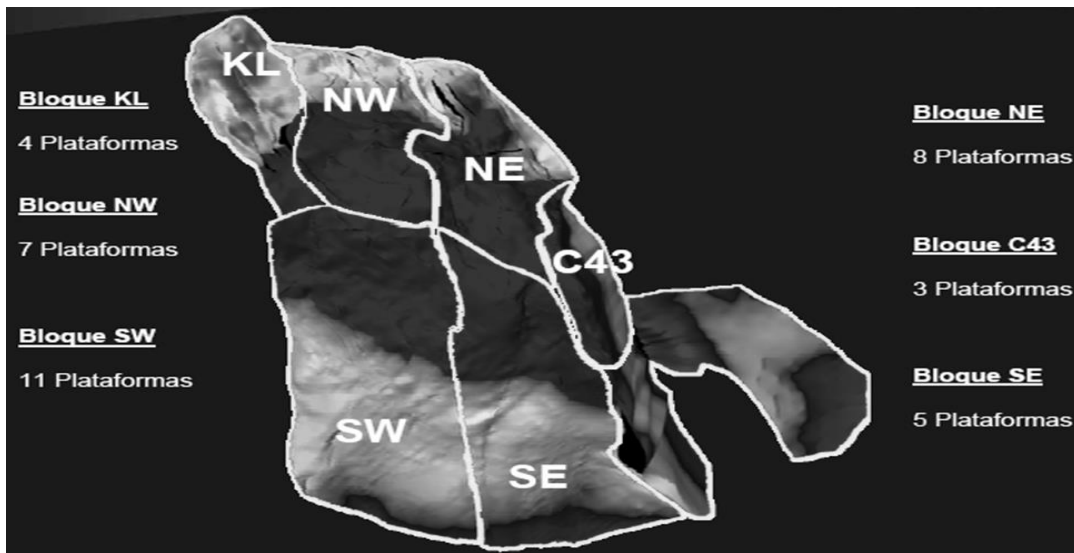
Fuente: Historia y situación actual, 1997¹⁰⁴.

Figura 3.6: Cantarell

Posteriormente fueron incorporados otros pozos, pero lamentablemente ninguno ha tenido un papel significativo para la recuperación en los niveles de Cantarell.

¹⁰³ Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell, 2007.

¹⁰⁴ Hernández, Gustavo, Cantarell: Historia y situación actual, 1997.



Fuente: Reservas de Hidrocarburos 2004¹⁰⁵.

Figura 3.7: Conformación de Cantarell

3.4.1 Akal

La estructura de Akal se presenta como un anticlinal asimétrico afallado con orientación NW-SE y un buzamiento suave hacia el sur, y pronunciado norte y noreste. Limitado al oeste por una falla normal, y al norte y noreste por una falla inversa.¹⁰⁶

Hacia el sureste se encuentra un cuerpo salino con una conformación irregular y de profundidad variable, que llega a romper y penetrar hasta los sedimentos del mesozoico.¹⁰⁷

3.4.2 Nohoch

¹⁰⁵ www.pemex.com.

¹⁰⁶ Arturo Hernández Juárez, 2008: “origen, evolución e importancia económica petrolera del campo Cantarell, en la sonda de Campeche”

¹⁰⁷ Ricardo José Padilla, “Evolución geológica del sureste mexicano desde el mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México”, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 2007.

Tiene una estructura anticlinal ligeramente alargada con el mismo rumbo NW-SE, afectada por una serie de fallas normales e inversas en el flanco oeste, y dos fallas normales y una inversa en el flanco este, en la misma dirección. La parte central de la estructura está definida por un graben, y a través del plano de fallas del mismo se tiene la presencia de sal¹⁰⁸¹⁰⁹.

3.4.3 Chac

En 1974 se identifica en Chac 1, un horizonte productor de la brecha del Cretácico Superior – Paleoceno Inferior.

Se muestra como una nariz estructural con dirección NW- SE, truncada por una falla normal que la separa del campo Nohoch. El campo Chac se encuentra estructuralmente más bajo que los campos Akal y Nohoch¹¹⁰.

3.4.4 Kutz

Se expone como una estructura anticlinal alargada, con orientación NW-SE y está limitada por dos fallas paralelas a su eje principal, la inversa hacia el occidente y la normal en el poniente, que corren en forma paralela al graben que separa la estructura del bloque Akal¹¹¹.

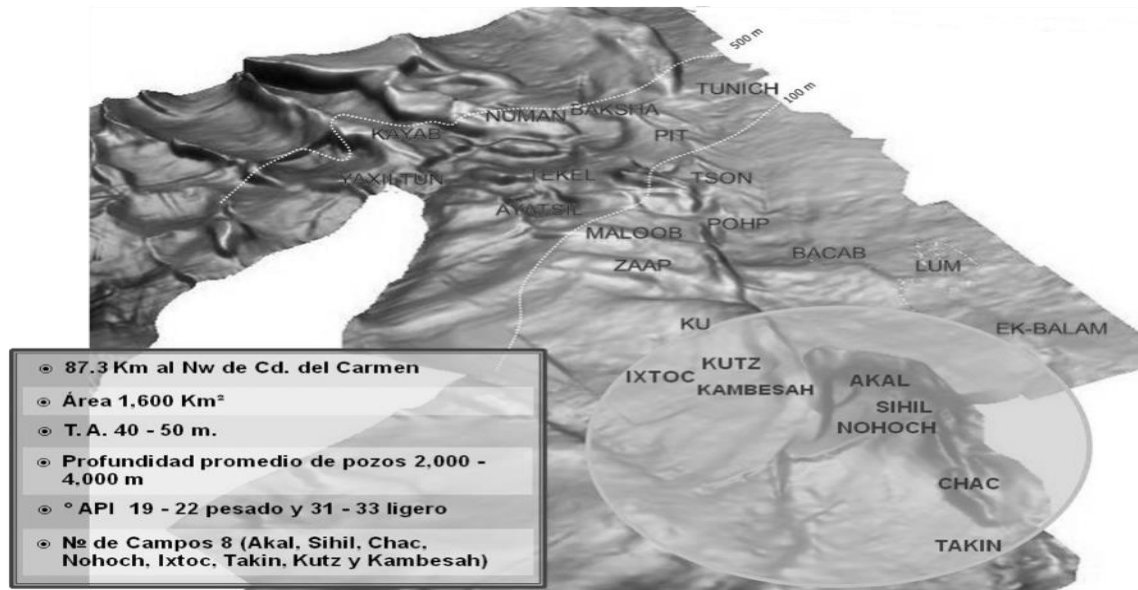
En la figura 3.8 podemos observar la conformación geológica de los campos Akal y Sihil:

¹⁰⁸ Arturo Hernández Juárez, 2008: “origen, evolución e importancia económica petrolera del campo Cantarell, en la sonda de Campeche”

¹⁰⁹ Demetrio Santamaría Orozco, “Grandes intercomunicaciones de aceite crudo en campos petroleros de México: aplicación de la geoquímica de yacimientos”, Exploración IMP, 2007.

¹¹⁰ Arturo Hernández Juárez, 2008: “origen, evolución e importancia económica petrolera del campo Cantarell, en la sonda de Campeche”

¹¹¹ Ídem.



Fuente: PEMEX¹¹².

Figura 3.8: Mapa sísmico de Cantarell.

3.5 Estratigrafía de Cantarell:

Originalmente, la corteza continental del Caribe y Golfo de México formó parte del gran “Continente Pangea”, hasta que se presentaron las primeras incursiones marinas que en esa región iniciaron en donde hoy se localiza el Estado de Oaxaca y continuaron hasta la apertura del Golfo de México.

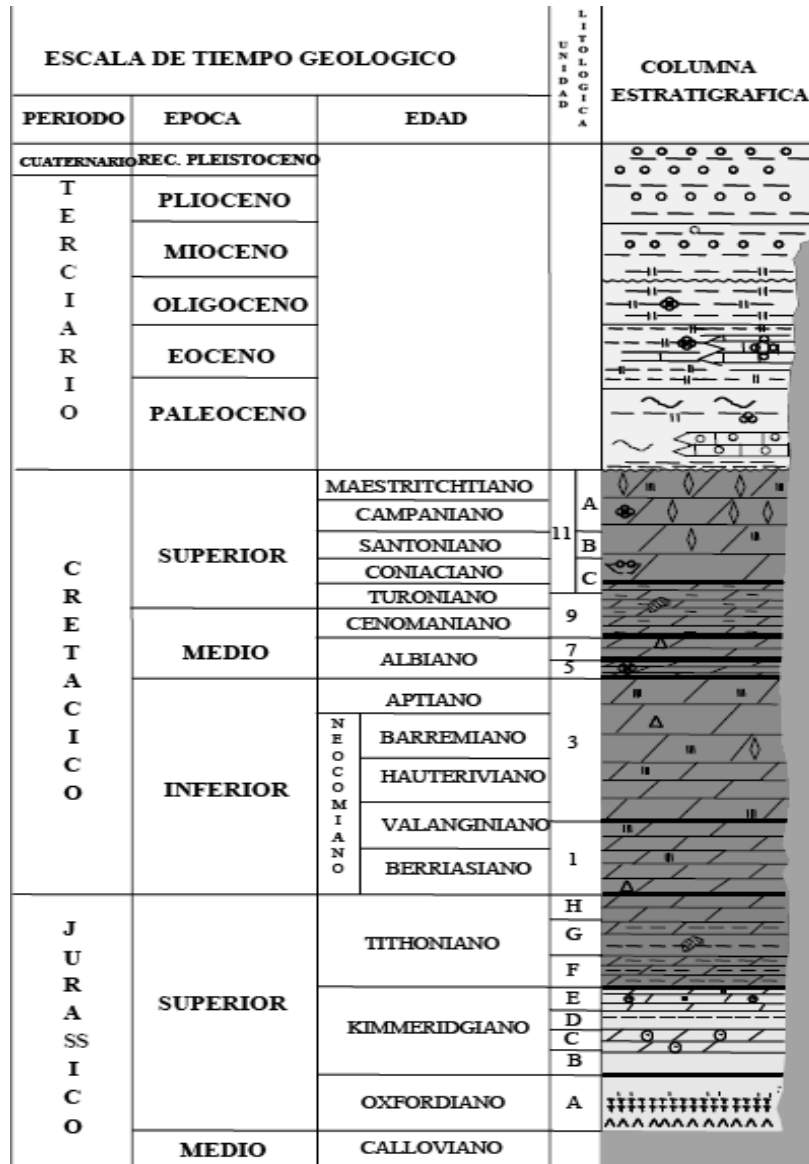
La región oriente de México constituía el margen occidental de Pangea desde el Pérmico hasta el Jurásico Medio, y el Golfo de México no existía en ese intervalo de tiempo¹¹³.

El análisis estratigráfico realizado a pozos perforados reportan edades desde el Jurásico Superior Oxfordiano al Reciente, en el cual se observa un espesor de 6000 metros^{114,115}.

¹¹² Comisión Nacional de Hidrocarburos, Factores de recuperación de aceite y gas en México, 2010.

¹¹³ <http://www.slb.com/>

En la siguiente figura se muestra la columna estratigráfica correspondiente a Cantarell:



Fuente: PEMEX¹¹⁶.

Figura 3.9: Columna estratigráfica de Cantarell.

¹¹⁴ www.pemex.com.

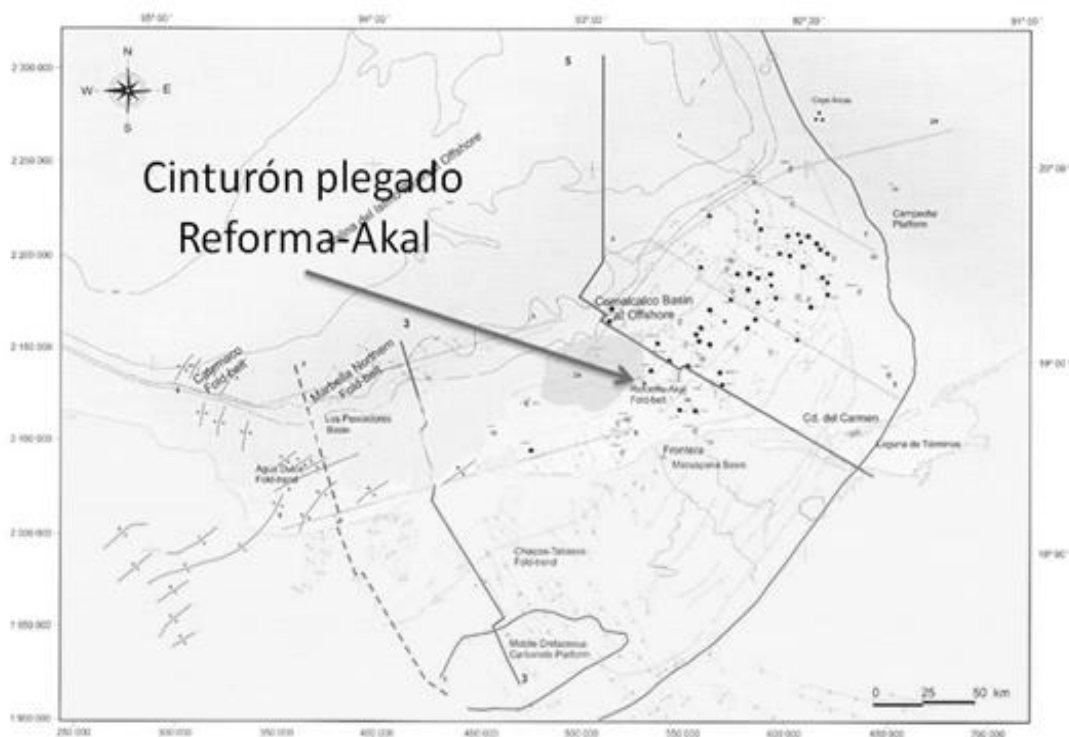
¹¹⁵ Cantú-Chapa, Abelardo, "Subsurface upper Jurassic stratigraphy in the Campeche Shelf, Gulf of México", 2001.

¹¹⁶ PEMEX, Reserva de Hidrocarburos 2003.

3.6 Tectónica de Cantarell:

La región de la Sonda Campeche se localiza en lo que se denomina el cinturón calcáreo plegado Reforma – Akal, el cual tiene la característica de encontrarse integrado por una parte continental y otra marina¹¹⁷.

Se ubica dentro de la Cuenca Sureste, la cual se encuentra entre las cuencas de Macuspana y Comalcalco.¹¹⁸



Fuente: PEMEX¹¹⁹.

Figura 3.10: Cinturón plegado Reforma Akal.

El cinturón plegado Reforma – Akal se encuentra colindando con la plataforma de Yucatán, en la cual se han cambiado sus márgenes desde su

¹¹⁷ Meneses de Gyves, "El Petróleo en México: unas referencias antes de su explotación" 1970.

¹¹⁸ Jaime Rueda Gaxiola, "Implicaciones tectónicas y económicas del descubrimiento de gas en la discordancia cretácico medio mioceno inferior del atolón de la faja de oro marina en el modelo de la triple unión para el origen del Golfo de México", IPN, 2003.

¹¹⁹ www.pemex.com.

aislamiento en el Jurásico Temprano como una microplaca, que se encuentra entre América del Sur y Norte¹²⁰.

3.7 Geología Petrolera de Cantarell:

En esta región se ha realizado la identificación de 3 principales sistemas generadores de hidrocarburos:

- a) Jurásico Superior Oxfordiano.
- b) Jurásico Superior Tithoniano.
- c) Mioceno^{121,122}.

Se considera a los 3 sistemas, aunque el sistema más importante es el Tithoniano, al aportar más del 90 % de las reservas probadas y de la producción acumulada.

Desde el punto de vista geológico la importancia de las rocas generadoras del periodo Tithoniano, son lutitas bituminosas y calizas arcillosas, las cuales presentan una alta concentración de materia orgánica.¹²³

Las rocas almacenadoras comprenden rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano, del Jurásico Superior Tithoniano, del Cretácico Inferior y Medio, del límite K/T (brecha calcárea del Cretácico Superior – Paleoceno) y en menor grado los horizontes productores del Paleoceno y Eoceno Medio. La brecha

¹²⁰ Rosenfeld, J. H. “El potencial económico del Bloque de Yucatán en México, Guatemala y Belice”. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LV, No. 1, 2002.

¹²¹ Holguín Quiñones, N. “Evaluación geoquímica del sureste de México”. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. V. 37, No. 1, 1985.

¹²² Romero Ibarra, M.A, Medrano Morales, L, y Maldonado Villalón, R. “Subsistemas Generadores del Área Marina de Campeche, México. En Subsistemas Generadores de México.” Boletín de la asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol XLIX, No 1-2, 2001.

¹²³ Ricardo José Padilla, “Evolución geológica del sureste mexicano desde el mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México”, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 2007.

calcárea de edad Cretácico Superior – Paleoceno (límite K/T) está formada por clastos angulosos de caliza y dolomía, y con desarrollo de alta porosidad secundaria debido a fracturamiento y a la formación de disolución. Es la unidad que presenta las mejores características de almacenadoras y constituye la principal roca formadora de yacimientos de la región¹²⁴.

La parte del sello se encuentra formada por una capa arcillosa y limolítica, dolomitizada e impermeable. Las trampas son de forma anticlinal, asociadas a fallamiento normal e inverso y con cierres contra fallas o contra intrusiones salinas.

3.8 Volúmenes originales de Cantarell:

El Complejo Cantarell tiene una superficie total de 1,450 km², en el cual se encuentran 8 campos y 2 proyectos.

Sus volúmenes originales totales son:

Tabla 3.4: Volúmenes originales de Cantarell¹²⁵

| Volumen original | MMBL | MMMPC |
|------------------|--------|--------|
| Aceite | 38,726 | N/A |
| Gas | N/A | 18,162 |

Fuente: PEMEX¹²⁶.

Uno de los papeles mas importantes en la explotación fueron los volúmenes de inyección de agua, gas y nitrógeno, ya que estos afectaron directamente la presión de pozos. Dentro de los valores de inyección encontramos:

¹²⁴ PEMEX, Exploración y producción, 1999.

¹²⁵ Comisión Nacional de Hidrocarburos, Factores de recuperación de aceite y gas en México, 2010.

¹²⁶ www.pemex.com.

Tabla 3.5: Volúmenes de inyección aplicados a Cantarell¹²⁷

| Inyección | MMBL |
|------------|-------|
| Nitrógeno | 1,200 |
| Gas Amargo | 110 |

Fuente: PEMEX¹²⁸.

3.9 Tipos de reservas en Cantarell:

Dentro de los pozos encontramos reservas de tipo 1P, 2P y 3P.

Tabla 3.6: Tipos de Reservas de Cantarell 2012¹²⁹

| Campo | Volúmenes Originales | Tipo de Reserva | Reservas remanentes |
|---------------|----------------------|-----------------|---------------------|
| <i>Akal</i> | 32208.7 | 1P | 1,451.5 |
| | | 2P | 995.5 |
| | | 3P | 1,888.3 |
| <i>Nohoch</i> | 2054.1 | 1P | 0 |
| | | 2P | 0 |
| | | 3P | 15.5 |
| <i>Chac</i> | 529.6 | 1P | 0 |
| | | 2P | 0 |
| | | 3P | 21.8 |
| <i>Kutz</i> | 332.83 | 1P | 0 |
| | | 2P | 0 |
| | | 3P | 50.3 |

Fuente: PEMEX¹³⁰.

¹²⁷ PEMEX, Reservas de Hidrocarburos 2009, 2009.

¹²⁸ www.pemex.com.

¹²⁹ PEMEX, Reservas de Hidrocarburos 2009, 2009.

¹³⁰ www.pemex.com.

En la tabla 3.6 podemos observar que los volúmenes remanentes de crudo se sitúan en Akal, además comparando con los volúmenes del 2005 podemos ver que el descenso de los demás pozos llegó a cero, razón por la cual se debe de considerar de manera urgente si se continúa explotando el Yacimiento Cantarell.

Los volúmenes de reservas en los pozos se encuentran en su mayoría en Akal, y sus tipos de reservas son:

Tabla 3.7: Volúmenes de Reservas en los pozos mas importantes de Cantarell del 2012¹³¹

| Campo | Posible | Probable | Probadas | Total |
|--------|---------|----------|----------|--------|
| Akal | 1451.2 | 995.5 | 1888.3 | 4335.3 |
| Nohoch | 0 | 0 | 18.5 | 18.5 |
| Chac | 0 | 0 | 24.6 | 24.6 |
| Kutz | 0 | 0 | 58 | 58 |

FUENTE: PEMEX.

¹³¹ Ídem.

Capítulo 4: El desempeño productivo de Cantarell

4.1 Principales porcentajes de producción de Cantarell, en México y en el mundo

La importancia de Cantarell no solo se encuentra plasmada en las cifras de producción a nivel nacional. Al ser catalogado como el segundo yacimiento de costa afuera más importante a nivel mundial, el potencial de producción esperado de Cantarell era muy alto ¹³².

Como se mencionó anteriormente en el año 2004, Cantarell logra alcanzar su pico máximo de producción de crudo (2136 mbd) y de igual manera México llega al máximo nivel de producción a nivel nacional (3824 mbd)¹³³. Este gran nivel de producción se puede ver reflejado en la tabla 4.1, en la cual se observa que en el 2004, Cantarell representó el 3% de la producción mundial ^{134, 135}.

Además de representar el 3% de producción mundial, Cantarell brindó a México un enorme ingreso económico con el cual se logró reinvertir en infraestructura para nuevos pozos y búsqueda de nuevas reservas.

Desde este año se comenzó a tomar en cuenta el proceso de declinación de Cantarell, así como las mejores opciones para su correcto abandono. Se debe de tomar en cuenta que aunque la disminución en Cantarell es importante, sigue brindando volúmenes de producción significativas que hacen que continúe siendo rentable.

¹³² PEMEX, Peralta Bojórquez, Mario, Cantarell: su historia y situación actual, 2007.

¹³³ Gershenson, Antonio, Quiénes echan al pozo a Pemex, La Jornada, Enero 2012.

¹³⁴ PEMEX, Reservas de Hidrocarburos en México, 2007.

¹³⁵ Comisión Nacional de Hidrocarburos, Reporte de Cantarell 2011.

En la 4.1 tabla podemos observar los porcentajes que representó Cantarell para el mundo y a nivel nacional, cabe destacar que el 2004 es el más significativo.

*Tabla 4.1: Porcentaje de producción en Cantarell
a nivel mundial y en México. ^{136, 137}*

| Año | Porcentaje de producción mundial | Porcentaje de producción nacional |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1990 | 1.36 | 39.90 |
| 1991 | 1.46 | 40.67 |
| 1992 | 1.44 | 40.14 |
| 1993 | 1.44 | 40.43 |
| 1994 | 1.43 | 40.69 |
| 1995 | 1.32 | 38.64 |
| 1996 | 1.44 | 38.91 |
| 1997 | 1.56 | 40.92 |
| 1998 | 1.68 | 43.92 |
| 1999 | 1.53 | 43.55 |
| 2000 | 1.78 | 48.84 |
| 2001 | 2.07 | 55.35 |
| 2002 | 2.25 | 59.87 |
| 2003 | 2.41 | 62.97 |
| 2004 | 2.5 | 63.15 |
| 2005 | 2.36 | 61.05 |
| 2006 | 2.05 | 55.31 |
| 2007 | 1.68 | 48.45 |
| 2008 | 1.16 | 37.23 |
| 2009 | 0.75 | 26.32 |
| 2010 | 0.6 | 21.66 |

Fuente: British Petroleum.

¹³⁶ www.bp.com.

¹³⁷ www.sie.com.

La evolución en la producción en Cantarell presenta un incremento continuo desde los inicios de su explotación hasta el 2004, año en el cual representó el 2.5% de la producción mundial y 63.15% de la producción nacional. Del 2000 al 2004 los incrementos en la producción fueron mayores en comparación con el periodo de 1979 a 1999, en gran parte debido al comienzo del Proyecto Cantarell en el cual se aplicaron técnicas para incrementar la producción (inyección de gas, agua, nitrógeno, etc.). Posteriormente en el 2005 comienza el proceso de declinación del yacimiento, lo cual se ve reflejado en la producción del 2005 al 2011, esto ocurrió aún cuando en el mundo se incrementó la producción.

4.2 Precios de la Mezcla Mexicana

Durante los años 80 comienza la llamada segunda crisis del petróleo, está provocada por diferentes factores entre los que se encuentran la revolución iraní, y la consecuente guerra entre Irán e Irak. Estos problemas bélicos influyeron en la desaceleración económica mundial ¹³⁸.

También en 1983 comienza la actividad vigente del marcador de petróleo West Texas Intermediate (WTI), el cual inicia su negociación en la Bolsa Mercantil de Nueva York, esta crisis en el precio del crudo persistió hasta 1989.

Durante 1991 el precio de la mezcla mexicana comienza un proceso de estabilidad, y a nivel mundial ocurre una alza en el precio debido en gran parte a la invasión de Kuwait (Guerra del Golfo Pérsico). Este proceso de estabilidad se mantuvo hasta el 2007, sin haber tenido cambios significativos ¹³⁹.

En 1997 el precio del crudo nacional sufre una disminución, provocada por la crisis que se tenía en Asia, como parte del plan de la OPEP se incrementaron y

¹³⁸ Ariel Castellano, Roberto; Situación del mercado internacional del petróleo; Comisión Nacional de Energía Atómica, Boletín energético No 14, Argentina.

¹³⁹ www.oilmarketreport.org.

redujeron las cuotas establecidas, lo que tuvo resultados hasta el 2001, año en el cual de nuevo el precio del barril comenzó a estabilizarse y a aumentar ¹⁴⁰.

La invasión de Irak en el 2003 por parte de Estados Unidos de América provocó que el precio del crudo internacional comenzara a incrementarse, por lo que de igual forma la mezcla mexicana incremento su valor. Esta tendencia se ha presentado hasta la fecha debido a conflictos bélicos en el medio oriente (Libia, Siria, Túnez, etc.) ^{141, 142}.

A finales de 2004 el precio de la mezcla disminuyó a 28.56 dpb, después de haber alcanzado un máximo de 38.93 dpb en octubre de ese año; dicha situación se explica por: a) un aumento de la oferta de la OPEP y de los países no- OPEP; b) una disminución de la demanda de China; c) la posibilidad de una menor demanda por parte de Estados Unidos como consecuencia de un invierno menos severo de lo que esperaba; d) un incremento de los inventarios de crudo; y e) disminución de la actividad especulativa en el mercado a futuros. No obstante, el precio de la mezcla mexicana de exportación alcanzó en 2004 un precio promedio de 31.02 dpb.

Durante 2010 y 2011, los precios del petróleo continuaron al alza, caracterizados por su creciente volatilidad, escenario que se sigue percibiendo en el presente ejercicio fiscal. Esta situación provocó que en el periodo enero – agosto de 2012, el WTI alcanzara un precio promedio de 96.35 dpb, el BRENT 112.05 dpb y la mezcla mexicana de exportación 103.62 dpb, precio mayor en 18.70 dpb al precio estimado en la Ley de Ingresos de 2012 (84.90 dpb). No obstante, se prevé que los precios de la mezcla mexicana podrían descender de manera moderada en el corto plazo por la debilidad de la economía mundial y la inestabilidad financiera internacional.

¹⁴⁰ PEMEX, Memoria de Labores 2001.

¹⁴¹ www.pemex.com.

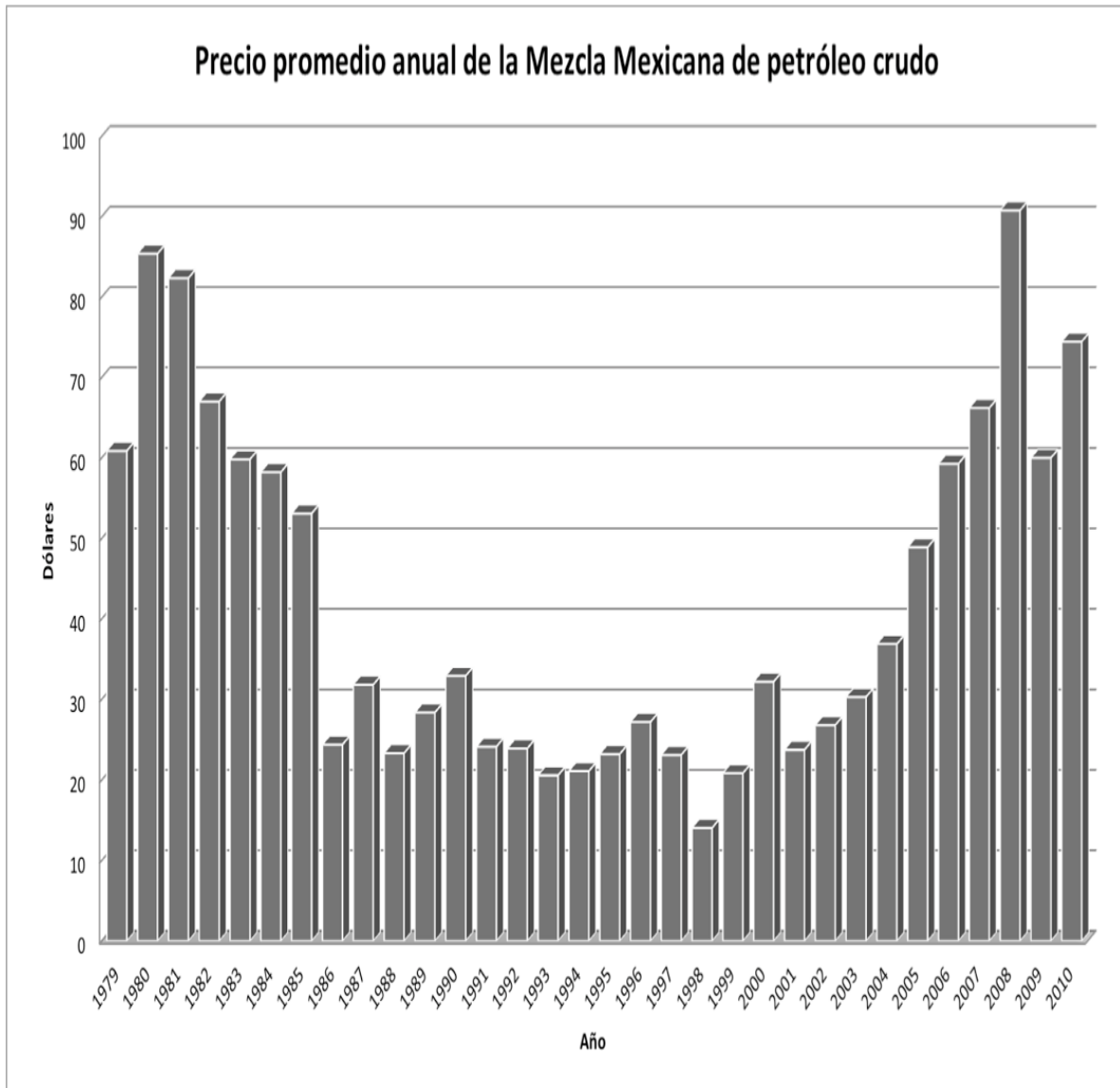
¹⁴² PEMEX, Memoria de Labores 2003.

Estos problemas descritos en párrafos anteriores se pueden observar en la figura 4.1, en la cual los altos y bajos en el precio de la mezcla mexicana quedan reflejados.

Es importante tomar en cuenta que la tendencia del precio internacional del crudo durante los próximos años dependerá principalmente del comportamiento de la economía global, pero sobre todo que Estados Unidos no entre en recesión, y que la economía de China no se siga deteriorando, como ha venido sucediendo en los últimos años. Además de los problemas bélicos que ocurren actualmente en el medio oriente.

El aporte de ingresos que Cantarell brindó supera las expectativas de los petroleros, a pesar de que después del 2005 comenzó a decaer su producción los ingresos que generó fueron superiores al total de los demás proyectos nacionales.

Lamentablemente el descenso de los volúmenes de producción de Cantarell ocurrió antes de que los precios del barril de petróleo aumentaran, ya que en caso de haber continuado con su producción por arriba de los 2500 mbd, los ingresos actuales de Cantarell brindarían oportunidad de mayor inversión en los proyectos que PEMEX se encuentra desarrollando durante los últimos años.



Fuente: PEMEX

Figura 4.1: Precio promedio anual de la mezcla mexicana de crudo. ¹⁴³, ¹⁴⁴

4.3 Importancia estratégica de Cantarell en México

Podemos encontrar dentro de los volúmenes originales de Cantarell 38,726 mmb de crudo y de gas natural 18,162 MMMpc; estos volúmenes de crudo corroboran la importancia de Cantarell a nivel mundial (2º campo petrolero de tipo

¹⁴³ www.bp.com.

¹⁴⁴ www.sie.com.

costa afuera en el mundo); y a niveles nacionales, Cantarell produjo durante muchos años mas del 60% de la producción en México ¹⁴⁵.

Debido al incremento en la demanda de crudo, se comenzaron procesos de recuperación secundaria en Cantarell; todo esto con la finalidad de cumplir las metas de producción requeridas. Durante los primeros años de recuperación secundaria se inyectó al yacimiento gas, con la finalidad de incrementar la presión. Posteriormente en el año 2000, durante el gobierno del ex presidente Vicente Fox Quesada, se da inicio al Proyecto Cantarell, el cual consistía en la creación de una planta de nitrógeno que cumpliría la función de inyectar nitrógeno el yacimiento y esto como consecuencia incrementaría la presión, provocando un aumento en los volúmenes de producción ¹⁴⁶.

Durante los primeros 3 años los volúmenes de producción se incrementaron de manera satisfactoria, pero durante el tercer año comenzaron problemas de invasión de agua al yacimiento, ruptura de las zonas permeables del yacimiento, además del incremento en la concentración de nitrógeno en el gas natural ^{147, 148}.

PEMEX comenzó a observar una baja en las producciones de Cantarell, y en estos años estimó que el declive de la producción de Cantarell comenzaría en el 2006. De manera sorpresiva en el 2004, mucho antes de lo previsto, Cantarell llega a su pico máximo de producción ¹⁴⁹.

Como se comentó en los capítulos anteriores, PEMEX tuvo una excesiva dependencia hacia la producción de Cantarell, de manera errónea se pensó que este iba a mantener muchos años los volúmenes de producción (aunque durante 30 años así fue, pero se esperaba mucho mas tiempo) pero en el 2004 comenzó

¹⁴⁵ PEMEX, Anuario Estadístico.

¹⁴⁶ Valencia García, Nicolás: La industria petrolera mexicana, Distrito Federal, México, IMP.

¹⁴⁷ PEMEX, Peralta Bojorquez, Mario, Cantarell: su historia y situación actual, 2007.

¹⁴⁸ Garaicochea Petirena, Francisco, La explotación irracional de Cantarell, su origen, su costo y como evitarla.

¹⁴⁹ PEMEX, Proyectos de Petróleos Mexicanos, 2009.

su declinación, algunos analistas dicen que fue natural y otros que fue consecuencia de las malas decisiones tomadas.

Todo esto trajo como consecuencia que durante los últimos 8 años PEMEX busque desesperadamente la manera de estabilizar los niveles de producción, por medio de inversión en varias actividades que habían permanecido rezagadas por muchos años. Se comienza de nuevo a realizar exploración, búsqueda de crudos no convencionales, implementación de nuevas y mejores tecnologías, licitaciones con empresas para apoyo, entre otras. De tal forma que del 2010 al 2012 observamos una caída significativa en la producción.

En la figura 4.2 se muestra la producción nacional y de Cantarell desde 1979 al 2010, realizando una comparación entre las dos gráficas podemos observar la similitud entre las dos. Esto es indicador de la dependencia que PEMEX tenía con Cantarell, lo cual provocó que en el 2005 la producción de Cantarell comenzará a caer y como consecuencia la producción nacional.

Actualmente en México existe controversia referida al tema del aumento de producción de petróleo, y de las reservas nacionales. Desde el 2004 se observó un descenso significativo en la producción nacional, en ese año se producían 3824 mbd de los cuales 2136 mbd correspondían a Cantarell¹⁵⁰.

Para PEMEX no solo la caída de las reservas y producción de crudo es de vital importancia, si no que también representa problemas en el área de refinería, petroquímica, pérdida de competitividad a nivel nacional, el aumento en las importaciones de gasolina, falta de capacitación, rezago tecnológico, entre otros

151 .

¹⁵⁰ Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell.

¹⁵¹ Anuario estadístico, 2009, PEMEX.

Se requiere de mejorar la eficiencia e implementar un plan de mejora continúa sobre todo en los procesos de exploración, explotación y obtención de derivados. Tomando en cuenta la prioridad de disminuir los costos de producción¹⁵².

El análisis de las cadenas de valor de PEMEX es un tema que debe de ser tratado con suma delicadeza y con una planeación que este enfocada a maximizar beneficios¹⁵³.

En la figura 4.2 podemos observar la evolución histórica desde 1979 al 2010. De 1981 a 1995 se observa un estancamiento en la producción de Cantarell debido a la falta de inversión dentro del yacimiento. En el año 2000 comienza un proceso de aumentó en la producción del crudo, debida en gran parte a la implementación de la Planta de Inyección de Nitrógeno, la cual en los primeros años incrementó notablemente la producción de Cantarell; aunque de igual forma varios analistas consideran que la Planta de Inyección de Nitrógeno, provocó el declive prematuro de Cantarell¹⁵⁴.

Es importante mencionar que la figura 4.2 nos muestra un proceso de explotación de Cantarell que no coincide con el proceso natural de declinación de un yacimiento.

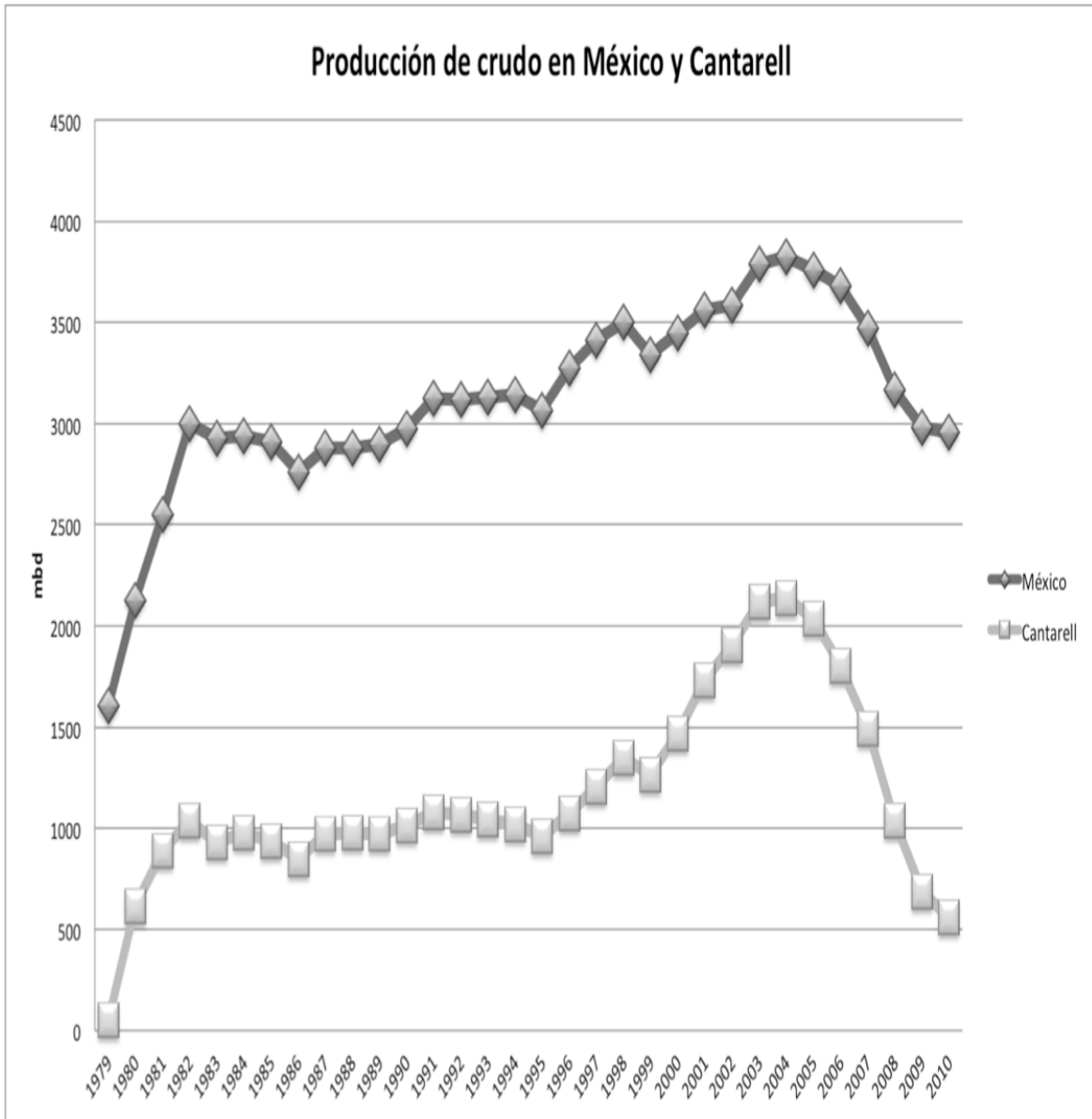
A partir del año 2010, Cantarell modificó la tendencia en su caída de producción, logrando tener un descenso menor en el porcentaje del 2010 al 2011. Esto generado por la implementación de los procesos de recuperación mejorada en los pozos que lo requieren como parte del plan de PEMEX para administrar la explotación, declinación y abandono de Cantarell.

¹⁵² Lajous, Adrián, El ocaso de Cantarell, Nexos, 2009.

¹⁵³ Álvarez de la Borda, Joel, Crónicas del petróleo en México, Archivo histórico de Petróleos Mexicanos, PEMEX.

¹⁵⁴ PEMEX, Peralta Bojorquez, Mario, Cantarell: su historia y situación actual, 2007.

Los volúmenes de históricos de Cantarell representan porcentajes mayoritarios en la producción nacional, podemos comparar esto con otros proyectos como Ku Maloob Zaap, Lakach y aguas profundas, ya que la suma de estos no supera los niveles máximos de producción de Cantarell.



Fuente: PEMEX

Figura 4.2: Producción de crudo en México y Cantarell. ¹⁵⁵, ¹⁵⁶

¹⁵⁵ www.bp.com.

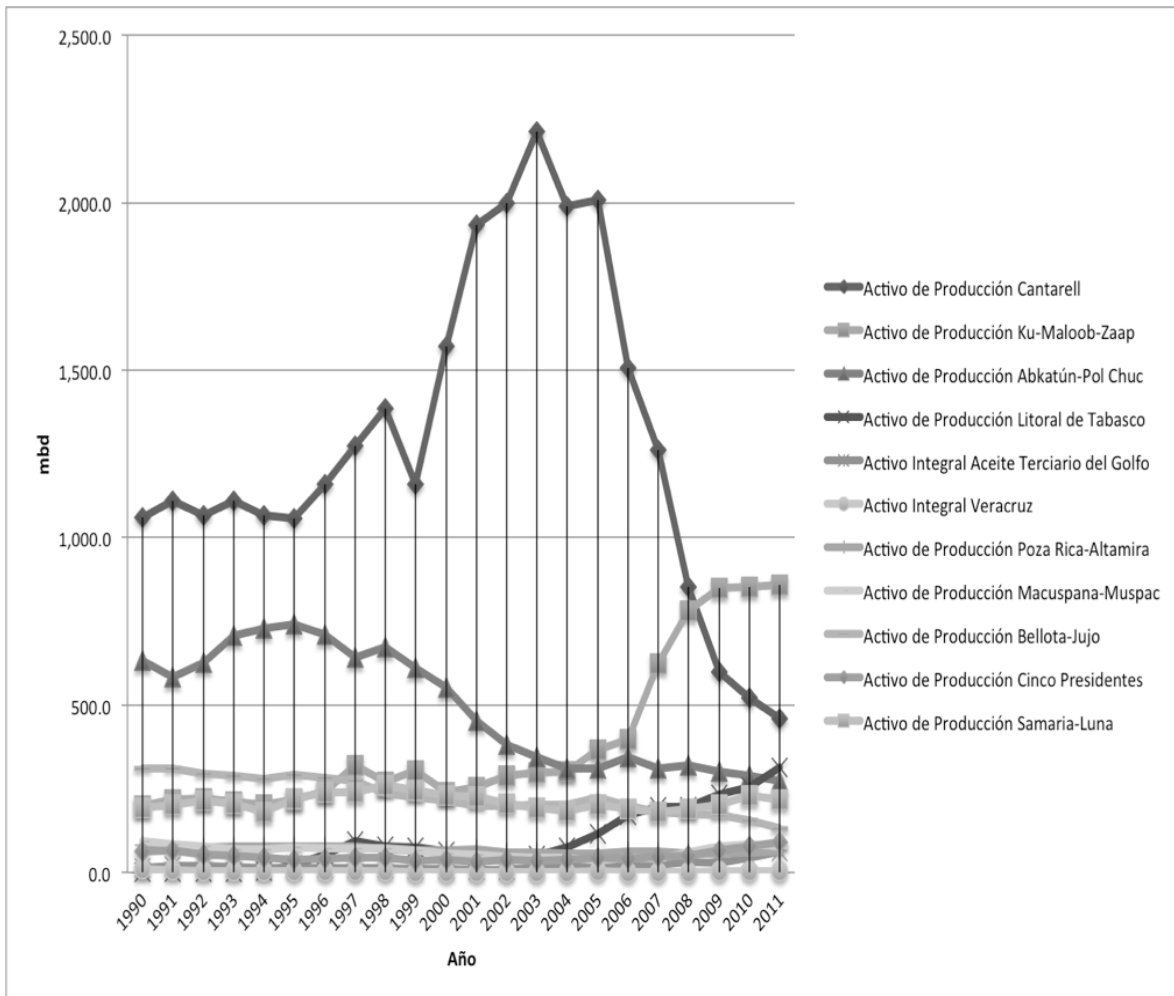
¹⁵⁶ www.sie.com.

La producción en México se encontró focalizada en Cantarell durante dos décadas, pero a pesar de esa problemática PEMEX tiene proyectos de inversión para extracción de crudo en otros activos.

En la figura 4.3 se observan los 3 principales yacimientos productores de crudo en México, en sus inicios Abkatún Pol Chuc producía volúmenes importantes cerca de la mitad de la producción de Cantarell, lamentablemente en 1998 comienza su proceso de declinación; el segundo yacimiento importante es Ku Maloob Zaap en el cual la producción generada hasta el 2006 era de bajos volúmenes y sin destacar de los demás activos, para el 2007 comenzó a incrementar sus volúmenes, situación que actualmente continúa y que debido a la caída de producción en Cantarell, Ku Maloob Zaap ha sido el pilar en la producción de crudo nacional del 2009 a la fecha.

En el 2011, Ku Maloob Zaap representa el mayor porcentaje de producción en PEMEX, además que sus reservas 1p superan los volúmenes de Cantarell, situación que lo posiciona en la actualidad como el yacimiento productor más importante en México.

Observando la evolución de Cantarell y Ku Maloob Zaap, encontramos que son muy parecidas (aunque en diferentes años), esto debe de servir como guía para PEMEX para eficientar los planes estratégicos que se aplicaran en un futuro a Ku Maloob Zaap.



FUENTE:CNH

Figura 4.3: Principales Activos productores en México.

4.4 Importancia estratégica del gas natural de Cantarell

A pesar de que Cantarell se consideraba como el mayor productor de crudo en el país, en el caso de gas natural su producción se encontraba por debajo de otros yacimientos (Burgos, Samaria Luna, Litoral Tabasco, etc.)¹⁵⁷.

¹⁵⁷ Centro de estudios de las finanzas públicas. Análisis al paquete económico 2011 en materia de ingresos. Septiembre 2011.

Lo que es importante mencionar es que como se comentó en puntos anteriores, el comportamiento de la producción de crudo y gas se encuentran relacionados en la mayoría de las producciones en yacimientos, pero en Cantarell las gráficas de crudo y gas son completamente ajenas una de otra ^{158, 159}.

Los volúmenes de producción de gas no fueron aprovechados de manera correcta ya que la mayor parte se quemó o se reinyectó al yacimiento. Aunque las técnicas de reinyección de gas mejoran en algunos casos la presión del pozo, en el caso de Cantarell la mezcla de gas, nitrógeno y agua afectaron de manera negativa la presión.

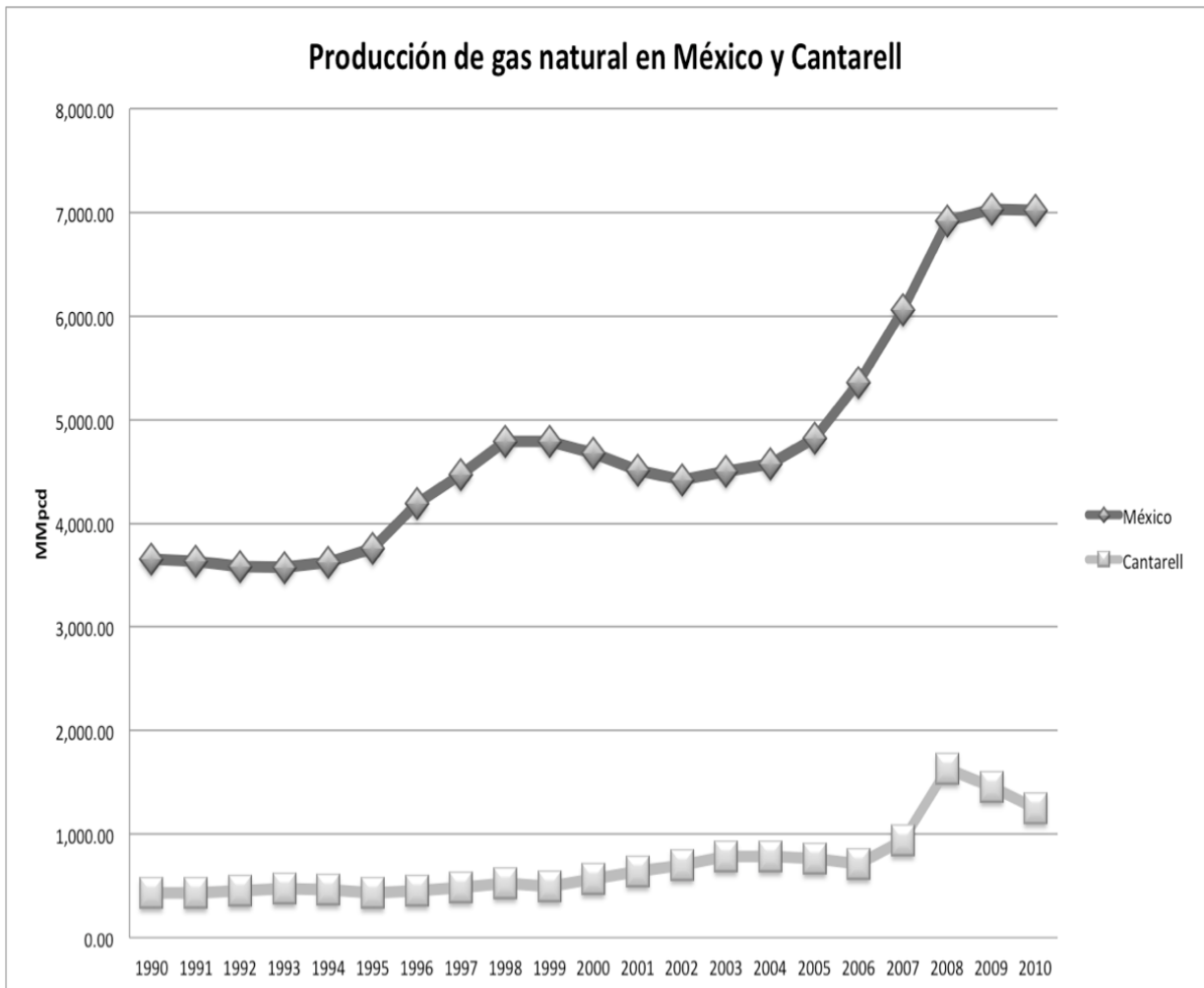
En la figura 4.4 podemos observar la comparación entre la producción de gas natural a nivel nacional y la producción de gas natural en Cantarell. Se debe de notar que en la producción nacional, durante los últimos 3 años ha ocurrido un estancamiento en la producción, lo que ha orillado a PEMEX a invertir en la búsqueda de nuevos yacimientos y mejores técnicas de extracción y recuperación ^{160, 161}.

¹⁵⁸ www.pemex.com.

¹⁵⁹ Comisión Nacional de Hidrocarburos.

¹⁶⁰ Centro de estudios de las finanzas públicas. Análisis al paquete económico 2011 en materia de ingresos. Septiembre 2011.

¹⁶¹ PEMEX, Programa para incrementar la eficiencia operativa en PEMEX y sus organismos subsidiarios, Junio 2008.



Fuente: PEMEX

Figura 4.4: Producción de gas natural en México y Cantarell. ^{162, 163}

Desde los inicios de explotación de Cantarell, este yacimiento no ha tenido una producción de gas significativa a nivel nacional. Lo que es importante mencionar es que en la mayoría de los yacimientos las gráficas de producción de gas y crudo se encuentran muy relacionadas; en el caso de Cantarell observamos que las dos gráficas no coinciden, en la figura 4.5 se observa como ha evolucionado la producción Cantarell ¹⁶⁴. En el año 2008, Cantarell incremento su

¹⁶² www.bp.com.

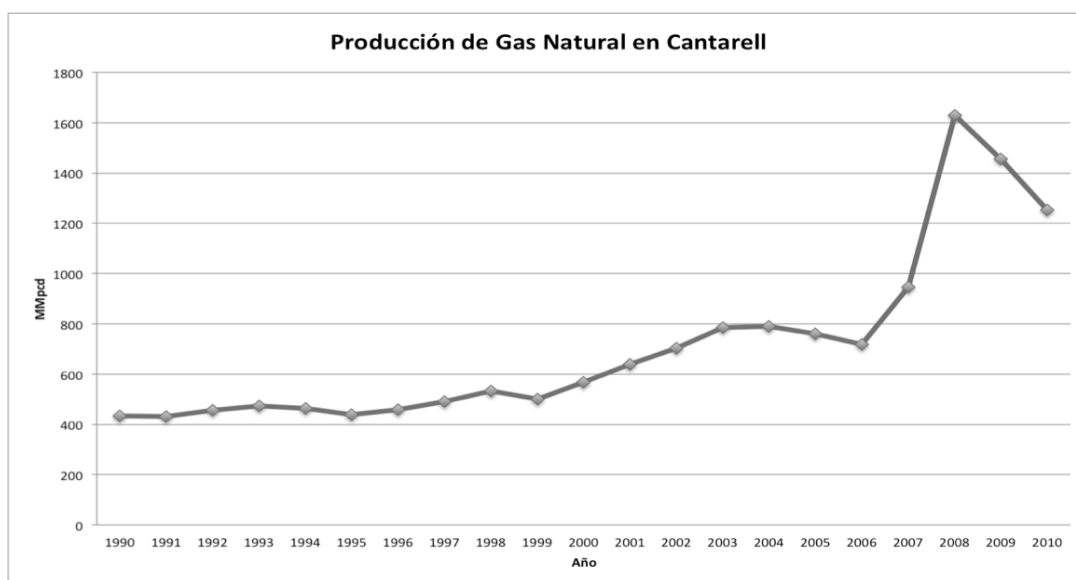
¹⁶³ www.sie.com.

¹⁶⁴ Álvarez de la Borda, Joel, Crónicas del petróleo en México, Archivo histórico de Petróleos Mexicanos, PEMEX.

producción de gas casi al doble, pero como se ha notado anteriormente en la gráfica 4.5, el proceso de producción no coincide con el proceso de vida de un yacimiento normal ¹⁶⁵.

Un hecho importante en cuanto a la quema y venteo de gas en Cantarell, es que en el 2011 se alcanzaron las metas de reducción de los volúmenes de gas natural procesados de esta manera. Esto habla de las intenciones de PEMEX de comenzar a proceder en búsqueda de mejorar sus técnicas de extracción. ¹⁶⁶

Desde el punto de vista económico, en el 2010 la quema de gas natural en Cantarell produjo una pérdida de 300 millones de dólares. Estas prácticas están consideradas como contaminantes, a pesar de que PEMEX afirma que es mejor para el ambiente quemar el gas excedente, en lugar de dejarlo subir a la atmósfera ¹⁶⁷.



Fuente: PEMEX

Figura 4.5: Producción de gas natural en Cantarell. ¹⁶⁸, ¹⁶⁹

¹⁶⁵ PEMEX, Memorias de Labores 2011.

¹⁶⁶ PEMEX, Programa para incrementar la eficiencia operativa en PEMEX y sus organismos subsidiarios, Junio 2008.

¹⁶⁷ PEMEX, Memoria de Labores 2010.

¹⁶⁸ www.bp.com.

¹⁶⁹ www.sie.com.

4.5 Producción de crudo en Cantarell por pozo

Como se mencionó en el capítulo anterior Cantarell está constituido por 4 pozos importantes: Akal Nohoch, Sihil, Kutz e Ixtoc, y otros de menor importancia¹⁷⁰. Parte del problema de la caída en la producción nacional de crudo fue la dependencia hacia Cantarell, debido a su gran producción y que se llegó a encontrar entre los 5 yacimientos más importantes a nivel mundial¹⁷¹. Esta dependencia hacia Cantarell, provocó que en el momento en el que Cantarell comenzó su declive de producción, comenzará una caída nacional en la producción de crudo, así como de reservas. Aunado al problema, durante años no hubo interés de PEMEX de realizar inversiones en la búsqueda de nuevos descubrimientos de yacimientos, ni de obtención de nuevas tecnologías para la extracción de petróleo no convencional¹⁷².

Durante el año 2004, Cantarell aportó el 63% de la producción a nivel nacional, pero de ese porcentaje Akal Nohoch representó la mayor parte de la producción¹⁷³. En cuanto a los pozos restantes encontramos que a pesar de que la producción de crudo de todos ha ido en aumento, este incrementó no ha sido significativo para compensar el descenso en Akal Nohoch.

Actualmente se está tratando de compensar esta pérdida de producción con el yacimiento Ku Maloob Zaap, el cuál a pesar de no obtener los mismos volúmenes que Cantarell, se encuentra incrementando su producción de manera constante¹⁷⁴.

Otra problemática que surgió fueron las inversiones en infraestructura que se plantearon en los pozos que conforman a Cantarell, durante los últimos años el

¹⁷⁰ www.pemex.com.

¹⁷¹ www.gibsonconsulting.com.

¹⁷² Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell.

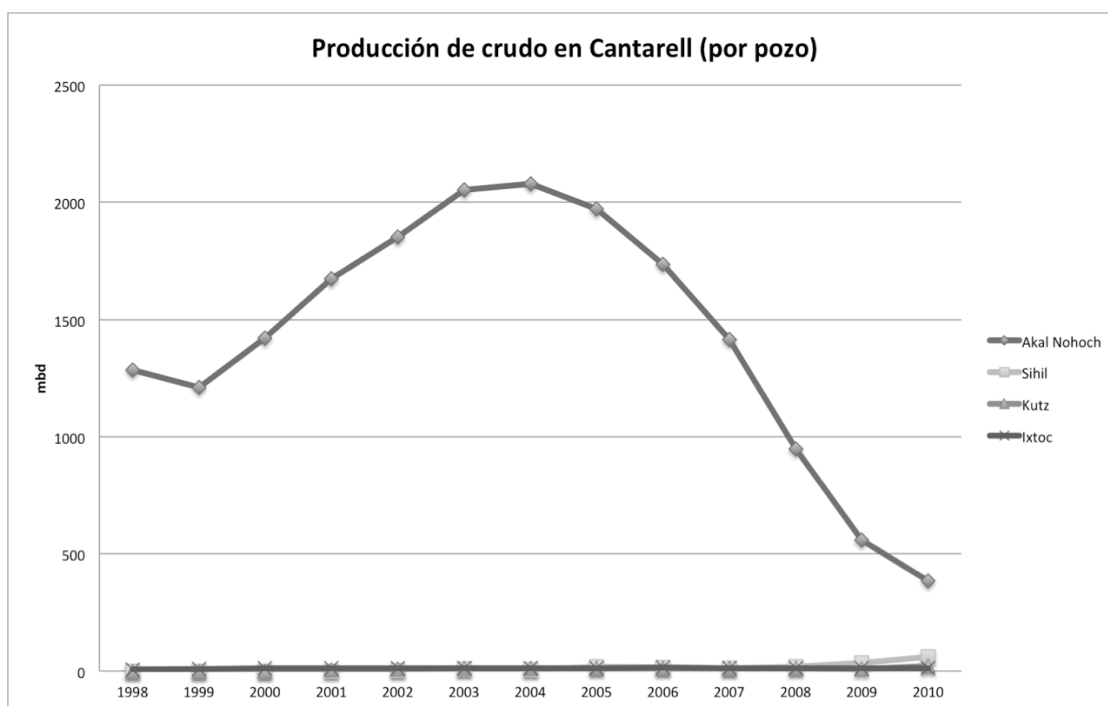
¹⁷³ www.pemex.com, Cantarell: pasado, presente y futuro.

¹⁷⁴ PEMEX, Memorias de Labores, 2011.

mayor error fue la aplicación de tecnologías a Sihil, este pozo prometía incrementar la producción y sus volúmenes de reservas los respaldaban para su explotación durante varios años. Después de que se realizaron mejoras al pozo comenzó una invasión de agua hacia la zona del crudo, lo cual provocó que se perdiera un gran oportunidad de incrementar la producción de Cantarell y por consecuencia del país.

Los planes de declinación de PEMEX destinados hacia los pozos de Cantarell, hasta el momento están brindando excelentes resultados, ya que se observó una estabilización en descenso de producción.

Para seguir estabilizando esta caída de producción se están implementando técnicas de recuperación mejorada, con la finalidad de alargar y eficientar la mayor cantidad de años posible el tiempo de vida de Cantarell.



Fuente: PEMEX

Figura 4.6: Producción de crudo en Cantarell por pozo. ¹⁷⁵, ¹⁷⁶

¹⁷⁵ www.bp.com.

¹⁷⁶ www.sie.com.

4.6 Ingresos generados por Cantarell

A pesar de las variaciones de precio desde 1979 a la fecha, Cantarell tuvo un aumento del 2000 al 2006, en la figura 4.7 se observa el pico máximo de ingresos en el año 2006, a pesar de que el pico de producción fue en el 2004.

Los últimos 2 años de ingresos reflejan la caída inevitable de Cantarell, ya que el precio del crudo del 2009 y 2010 fueron superiores a los de años anteriores.

De 1986 a 1999 Cantarell presenta una estabilidad en los ingresos que generó, todo esto influido por los bajos precios del crudo y la falta de inversión en el yacimiento¹⁷⁷.

Le pérdida en la producción de Cantarell influyó de gran manera en los ingresos de PEMEX. Al ser el yacimiento más grande, con mas producción y más importante de México, su descenso en la producción deja a PEMEX con una pérdida de 106,829,000 dólares diarios; tomando en cuenta que actualmente el precio de la mezcla mexicana es superior a 100 dólares y suponiendo que la producción siguiera siendo satisfactoria, PEMEX tendría excesos petroleros suficientes para realizar las inversiones que tanto necesita ^{178, 179, 180}.

Los ingresos petroleros han sido una seguridad para solventar el gasto público, además de un elemento para sostener el crecimiento económico que ha tenido México en los últimos años. Tal es su importancia, que hoy se sostiene una vez más que las finanzas públicas están siendo totalmente dependientes al petróleo, esta situación resulta de gran preocupación, ante las voces electorales que proponen que el gobierno federal abra la realización de actividades de la

¹⁷⁷ PEMEX, Anuario Estadístico.

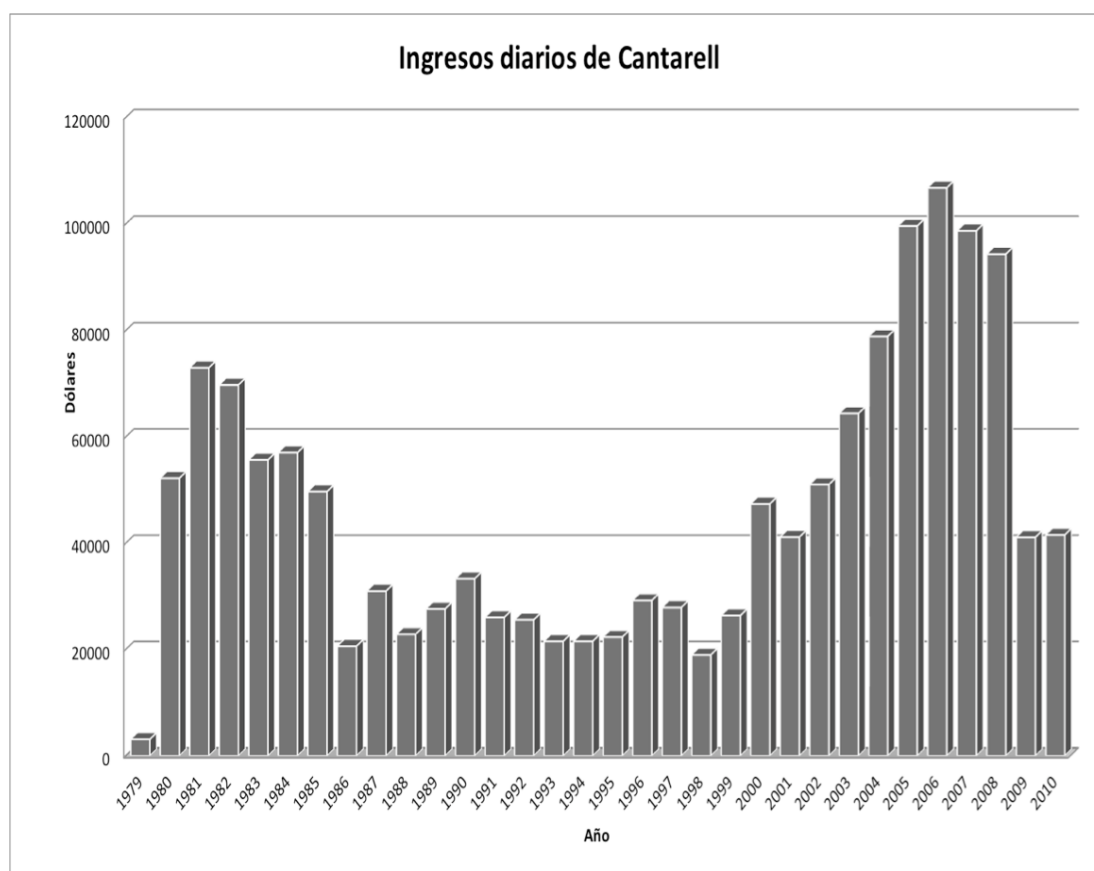
¹⁷⁸ PEMEX, Presentación al Congreso mexicano del Petróleo, Agosto 2010.

¹⁷⁹ Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México ante la era post Cantarell, Instituto de investigaciones jurídicas, UNAM.

¹⁸⁰http://economia.terra.com.mx/noticias/noticia.aspx?idNoticia=201111212038_REF_80512620.

industria petrolera, exclusivas del estado, a la iniciativa privada, hecho que afectaría de manera drástica las finanzas públicas nacionales.

A pesar de los altos precios del petróleo a nivel internacional, en virtud de la caída en la plataforma de extracción de Cantarell los ingresos petroleros desde 2007 reflejan una inestabilidad, al haber caído en ese año 1.6%. Sin embargo, la mayor caída se dio en 2009, año de recesión económica, habiendo tenido una contracción de -21.3%, experimentándose una recuperación en 2010 y 2011, por la reactivación económica internacional. Por lo que el panorama petrolero no da buenos visos para el futuro inmediato.



Fuente: PEMEX

Figura 4.7: Ingresos diarios de Cantarell. ^{181, 182}

¹⁸¹ www.bp.com.

¹⁸² www.sie.com.

4.7 Inversión asignada en el 2012 por Activo

Como parte de la distribución de la inversión asignada, PEMEX PEF tiene la función de repartir el total de la inversión. Principalmente las decisiones de la distribución se encuentran generados por el nivel de importancia del activo al que se invertirá.

Durante el año 2012, PEMEX PEF (presupuesto de egresos de la federación) destinó 249,148,000 de pesos como parte de la inversión asignada, es importante mencionar que la inversión corresponde solo a los recursos de gasto capital destinado a proyectos de infraestructura económica. Esto quiere decir que no se incluye la inversión que se destina ha programas y proyectos de inversión de adquisiciones, mantenimientos, análisis de inversión, etc. ¹⁸³

Es importante hacer notar que existen dos tipos de inversiones, inicialmente encontramos la inversión del presupuesto original, y finalmente la inversión ejercida, la cual es la inversión real total.

En la tabla 4.2 se muestra como se encuentra distribuido entre los activos la inversión asignada:

Tabla 4.2 Inversión asignada en el 2012 por activo (millones de pesos) ^{184, 185}

| Activo | Inversión asignada |
|--|--------------------|
| Total | 249,148 |
| Activo Integral Burgos | 18,104 |
| Activo Integral Poza Rica Altamira | 8,820 |
| Programa Estratégico de Gas | 45,800 |
| Activo Integral Aceite Terciario del Golfo | 18,322 |

¹⁸³ Informe de Inversiones, CNH, Marzo 2012.

¹⁸⁴ Informe de Inversiones, CNH, Marzo 2012.

¹⁸⁵ Proyectos Presupuestarios derivados del Artículo Cuarto Transitorio de la LFPRH (Pifideps) del PEF 2009.

| | |
|---|--------|
| Activo Integral Holok Temoa | 1,524 |
| Activo Integral Litoral de Tabasco | 7,625 |
| Activo de Exploración Sur | 1,202 |
| Activo Integral Muspac | 3,049 |
| Activo Integral Bellota Jujo | 13,781 |
| Activo Integral Abkatún Pol Chuc | 13,512 |
| Activo Integral Ku Maloob Zaap | 39,363 |
| Activo Integral Cantarell | 54,813 |
| Activo de Exploración Plataforma Continental Sur RMNE | 3,620 |
| Activo Samaría Luna | 19,613 |

Fuente: PEMEX¹⁸⁶.

4.8 Inversión en Cantarell

En Julio y Noviembre del 1996 se realizaron una serie de ajustes al Activo Integral Cantarell, los cuales fueron autorizados por la Comisión Intersecretarial de Gasto de Financiamiento (acuerdo 96-II-E-1) y la H. Cámara de Diputados. A partir de estos ajustes nace el Proyecto Cantarell y se implementó el proceso de inversión estratégica para modernizar, optimizar e incrementar la producción en el yacimiento Cantarell. Y en 1998 la H. Cámara de Diputados aprobó en el PEF la incorporación de la inversión operacional del Activo Cantarell.

En el 2000, se incorporaron en el PEF más intereses capitalizables de inversión, los cuales se financiaban como parte del costo total del proyecto, entre esos proyectos se incorporó la inversión del bloque Sihil, la Planta de Nitrógeno Atasta, entre otros.¹⁸⁷

En este mismo año se plantearon 3 etapas para su desarrollo según lo planeado, las etapas son:

¹⁸⁶ www.pemex.com.

¹⁸⁷ Proyecto Cantarell, PEMEX PEP, Abril 17, 2009.

- a) Desarrollo y explotación inicial (76-96): explotación en Akal, y se plantea alcanzar el millón de barriles de producción.
- b) Desarrollo agresivo y máxima producción (97-05): se incrementaron las inversiones y el desarrollo del campo.
- c) Recuperación mejorada (06-actual): declinación natural de Cantarell.¹⁸⁸

Actualmente dentro de las inversiones económicas que se han asignado a Cantarell, encontramos que han disminuido sustancialmente y de manera progresiva. Todo esto provocado por el declive en la producción de crudo del yacimiento, una de las ventajas de la situación actual de Cantarell es que permite a PEMEX, realizar inversiones de recuperación secundaria para conocer estas metodologías que en México aún no han sido exploradas.¹⁸⁹¹⁹⁰

Tabla 4.3 Calendario Fiscal de Cantarell ¹⁹¹

| Año de Inversión | Monto Modificado (millones de pesos) | Monto Planeado (millones de pesos) |
|------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1998 | 39,690 | 39,690 |
| 1999 | 133,670 | 133,670 |
| 2000 | 1,347,346 | 1,347,346 |
| 2001 | 2,734,535 | 2,734,535 |
| 2002 | 7,675,422 | 7,675,422 |
| 2003 | 9,615,091 | 9,615,091 |
| 2004 | 15,622,328 | 15,622,328 |
| 2005 | 17,160,941 | 17,160,941 |

¹⁸⁸ Memorias de Labores 2009, PEMEX.

¹⁸⁹ <http://www.shcp.gob.mx>.

¹⁹⁰ Pemex, Reporte Anual 2005 a la SEC del gobierno de EE.UU. en Washington.

¹⁹¹ http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.

| | | |
|------|------------|------------|
| 2006 | 11,083,473 | 11,083,473 |
| 2007 | 26,511,943 | 26,511,943 |
| 2008 | 20,577,784 | 20,577,784 |
| 2009 | 53,259,043 | 31,410,752 |
| 2010 | 52,161,592 | 57,791,896 |
| 2011 | 51,904,695 | 49,601,642 |
| 2012 | 60,926,336 | 53,926,026 |
| 2013 | 32,583,483 | 60,107,823 |
| 2014 | 32,317,620 | 35,020,655 |
| 2015 | 34,107,102 | 23,420,953 |
| 2016 | 25,125,319 | 16,400,171 |
| 2017 | 22,107,744 | 12,231,547 |
| 2018 | 20,027,608 | 15,018,786 |
| 2019 | 28,285,591 | 12,173,734 |
| 2020 | 20,351,966 | 10,517,339 |
| 2021 | 17,745,871 | 11,399,020 |
| 2022 | 15,084,138 | 11,993,012 |
| 2023 | 13,275,921 | 8,764,711 |
| 2024 | 12,709,450 | 9,065,584 |
| 2025 | 12,140,314 | 1,179,777 |
| 2026 | 13,399,856 | 3,413,015 |

Fuente: PEMEX¹⁹².

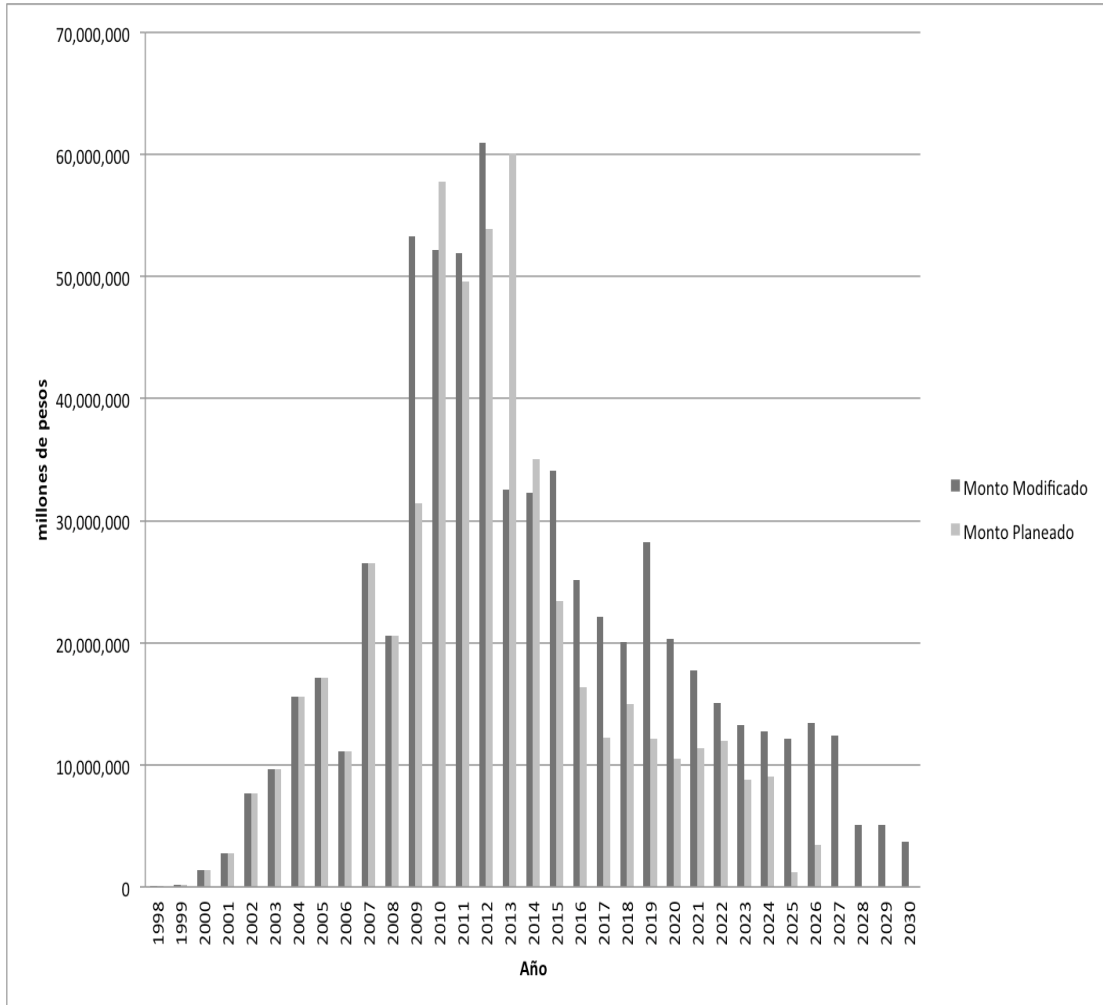
En la tabla 4.3 los números de montos nos muestran que a pesar de la disminución en la producción de Cantarell, los últimos años se ha estabilizados la inversión destinada al yacimiento.

Como se observa en el plan estratégico de PEMEX para el proceso de declinación de Cantarell, el descenso en los montos de inversión disminuye

¹⁹² www.pemex.com.

constantemente hasta el 2030. En el 2009, año en el cual se plantea administrar la declinación de Cantarell con un aumento de \$ 53,259,043, esto permitió comenzar el proceso de mejora en la infraestructura de Cantarell viendo a futuro en su proceso de declinación y abandono.

Esto lo podemos observar de mejor manera en la figura 4.8:



FUENTE:SHCP

Figura 4.8: Montos de inversión modificado y planeado en Cantarell.¹⁹³

¹⁹³ http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.

Durante el año 2012 se pretendió realizar una inversión total de 908,006 millones de pesos en el Activo Integral Cantarell; y de igual forma el presupuesto de egresos de la federación asignó 54,813 millones de pesos en el mismo año.¹⁹⁴. Como parte del presupuesto original del 2011 encontramos que se designaron 58,758 millones de pesos, pero solamente se registra que se ejercieron 52,905 millones de pesos. Esto nos indica que se tuvo un déficit del 2% según el presupuesto inicial.¹⁹⁵ Del 2013 al 2026 se considera una inversión de 169,775 mmpesos, monto con el cual se espera realizar la perforación de pozos, así como su terminación, deshidratación de crudo, inyección de nitrógeno, uso del gas, mantenimiento y abandono.¹⁹⁶

4.8.1 Inversión Asignada en el 2012 en Cantarell por actividad

Además de la asignación de los ingresos en Cantarell, estos se tienen que distribuir entre los diferentes departamentos del Activo, esta selección es de suma importancia, ya que el destino de los ingresos tendrán que estar planeados según las necesidades del Activo. En el caso específico de Cantarell la mayor inversión se encuentra destinada hacia las actividades de producción y desarrollo.

Tabla 4.4 Inversión Asignada en Cantarell por actividad(millones de pesos) ^{197, 198}

| Actividad | Inversión | Porcentaje |
|---------------|-----------|------------|
| Exploración | 13,719 | 25% |
| Desarrollo | 19,051 | 35% |
| Producción | 22,042 | 40% |
| Investigación | 1,333 | 2% |

Fuente: PEMEX¹⁹⁹.

¹⁹⁴ Memoria de Labores 2011, PEMEX.

¹⁹⁵ <http://www.apartados.hacienda.gob.mx/presupuesto/temas/pef/2009/index.html>.

¹⁹⁶ PEMEX, Análisis costo beneficio: proyecto Cantarell, Octubre 2012.

¹⁹⁷ Informe de Inversiones, CNH, Marzo 2012.

¹⁹⁸ <http://www.shcp.gob.mx>.

¹⁹⁹ www.pemex.com.

4.9 Aspectos importantes de la inversión

Dentro de la visión a futuro para mejorar la producción en Cantarell, se plantearon puntos técnicos importantes que trascenderían hasta la fecha en el desempeño del yacimiento:

- Mejoramiento de infraestructura de producción, así como de el mantenimiento de presión utilizando técnicas de recuperación mejorada.
- Optimizar la operación de pozos e infraestructura, y regular el proceso de abandono de campos.
- En el año 2009 se planteó la construcción de una planta de deshidratación de crudo para reducir el contenido de agua que se encontraba en el crudo debido a la pérdida de permeabilidad e invasión de agua.
- Preservación del medio ambiente y seguridad laboral en las instalaciones.²⁰⁰

4.10 Principales Inversiones

Como se revisó en capítulos anteriores, el Proyecto del Activo Integral Cantarell ha estado acompañado de una serie de inversiones enfocadas a la infraestructura, optimización, producción, exploración e incorporación de nuevos pozos.

Tales inversiones han permitido incrementar los niveles de producción y alargar el tiempo de vida de Cantarell.

²⁰⁰ Proyecto Cantarell, PEMEX PEP, Abril 17, 2009.

Dentro de las inversiones de infraestructura más importantes encontramos la creación de oleoductos y gasoductos, inyección de agua, gas, nitrógeno, etc., proyectos de reducción de venteo y quema de gas, por mencionar algunas.

En los siguientes puntos se tomarán dos de las inversiones más significativas:

4.10.1 Planta de Nitrógeno

En los años 90, PEMEX comienza un proceso de modernización y optimización de Cantarell, el cual consistía en la inyección de Nitrógeno (N₂) con la finalidad de mantener la presión en el yacimiento y disminuir la caída de la producción de Cantarell²⁰¹.

En 1997 se realiza una licitación internacional, en el cual asignó un contrato para el suministro de N₂ por 15 años (Consortio Compañía de Nitrógeno Cantarell). Este consorcio se integró por seis empresas:

- a) BOC-Holdings, de Inglaterra.
- b) Westcoast Energy, de Canadá.
- c) Marubeni Corporation, de Japón.
- d) Linde AG, de Alemania.
- e) ICA-Fluor Daniel de México (desarrollo integral de las instalaciones).
- f) Líder del proyecto IPC.²⁰²

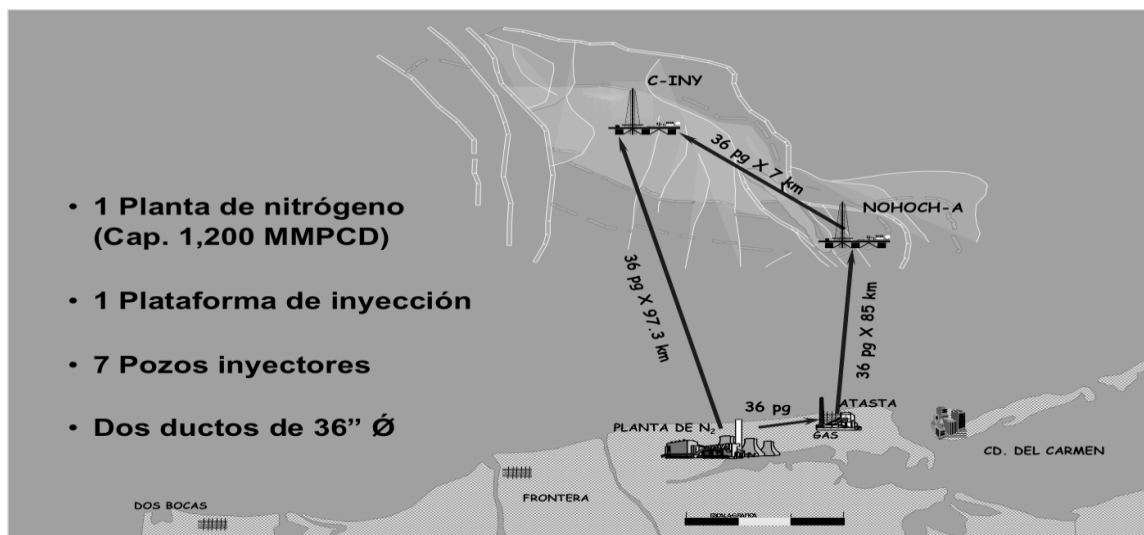
²⁰¹ Peláez Zapata, Rubén, Cantarell ayer y hoy..., 2009.

²⁰² PEMEX, Proyectos de Petróleos Mexicanos, 2009.

La planta se localizó en Atasta, Campeche, a 60 km de Ciudad del Carmen; ésta debería de inyectar 1,200 millones de pc diarios, por medio de una tubería de 36 pulgadas de diámetro y 90 km de longitud dirigidos hacia los yacimientos de Cantarell. La planta de N₂ está integrada por cuatro módulos de separación de aire, cada uno con capacidad de 300 millones de pc; estaciones de compresión de nitrógeno, una planta de cogeneración de energía formada por 4 turbogeneradores (capacidad de 400 MW) y un sistema de transportación de gas a la plataforma de inyección situada mar adentro.²⁰³ Es importante puntualizar que la planta de Nitrógeno Cantarell estaba destinada a ser la planta más grande del mundo.

El ducto de 36 pulgadas conecta a la planta de nitrógeno con la plataforma Akal – C, otro ducto de las mismas características conecta del segundo punto de Atasta a Nohoch – A.²⁰⁴

En la imagen 4.9 se muestra el esquema de distribución de nitrógeno de la planta hacia el complejo:



Fuente: PEMEX²⁰⁵.

Figura 4.9: Planta de Nitrógeno Atasta.

²⁰³ Temas Selectos sobre la Caracterización y la Explotación de Yacimientos Carbonatados”. Colegio de Ingenieros Petroleros de México. 1988. Páginas 49 a 52. Autor: Francisco Garaicochea.

²⁰⁴ Memorias de Labores 2009, PEMEX.

²⁰⁵ www.pemex.com.

El proceso de modernización y optimización de Cantarell con la inversión de la planta de nitrógeno fue una idea muy controvertida y conflictiva, esta discusión llevo a varios expertos, especialistas petroleros y académicos; a debatir otras opciones que pudiesen ser implementadas para Cantarell.²⁰⁶

Parte de esta controversia se dirigía a la reinyección de gas natural (el cual se quemaba en cantidades exorbitantes), en lugar de nitrógeno. De manera irónica años después la reinyección de gas natural seria la opción que PEMEX tomaría ante el declive de Cantarell.²⁰⁷

4.10.2 Reducción de venteo y quema de gas

Uno de los grandes problemas generados de la producción de Cantarell, es la quema y venteo de gas, el cual contiene químicos volátiles y dañinos para el medio ambiente. Como parte del proceso de extracción en una gran parte de pozos se ventea o quema el gas expedido, esto genera perdidas monetarias y daños al ambiente.

Parte de la problemática es los componentes químicos que se encuentran en el gas, tales como:

Tabla 4.5 Componentes del gas en Cantarell ²⁰⁸

| Químicos | |
|--------------------|-----------|
| Ácido Sulfhídrico | i-Pentano |
| Dióxido de Carbono | Metano |

²⁰⁶ Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell, 2007.

²⁰⁷ Garaicochea Petrirena, Francisco, La explotación irracional de Cantarell, su origen, su costo y como evitarla.

²⁰⁸ Documento para cumplir con las disposiciones técnicas para la quema y venteo de gas, Anexo a.- Manifiesto, Activo Integral Cantarell, Junio 2011.

| | |
|----------|-----------|
| Etano | n-Butano |
| Hexano | Nitrógeno |
| i-Butano | Propano |

Fuente: PEMEX²⁰⁹.

Además de los químicos componentes del gas, cada pozo tiene una característica diferente de volúmenes en los porcentajes de los gases, lo cual puede dificultar su tratamiento, ya que el poder calorífico (BTU/FT³) varía notablemente y compromete el tratamiento para cada pozo.²¹⁰

Como parte de la estrategia de explotación de Cantarell, se plantea como punto crítico la optimización y maximización el factor de recuperación de hidrocarburos a corto y largo plazo. Dentro del Plan de Negocios de PEMEX²¹¹ los puntos para mejora son la construcción de infraestructura, mejoras en la operación de pozos críticos, reducción de la extracción de gas en la zona de transición, reinyección de gas producido, compresión de gas y detener la quemas del hidrocarburo.²¹²

Para finales del 2011 la Comisión Nacional de Hidrocarburos reportó que PEMEX PEP logró disminuir la quema y venteo de Cantarell hasta un 17.5% de gas, y a mediados del 2012 llegó al 30%.²¹³

Desafortunadamente en el 2011 la disminución en la quema y venteo no logró completar los objetivos establecidos para PEMEX, por lo que se tuvo que multar a PEMEX y como consecuencia se incrementó la inversión asignada al proyecto hasta 13 mil 800 millones de pesos. Esto con la finalidad de la instalación

²⁰⁹ www.pemex.com.

²¹⁰ Chang, R. Principios Esenciales de Química General, Cuarta edición, McGraw-Hill, Madrid, 2006.

²¹¹ Plan de Negocios, PEMEX, 2010.

²¹² Documento para cumplir con las disposiciones técnicas para la quema y venteo de gas, Anexo a.- Manifiesto, Activo Integral Cantarell, Junio 2011.

²¹³ www.cnh.com.

de turbocompresores y módulos de inyección para lograr disminuir las mermas producidas de gas.²¹⁴

4.11 Problemas en Cantarell

Con la incorporación de la inversión en la infraestructura de Cantarell, surgieron una serie de problemas, generados por diferentes variables, pero que al final repercutieron directamente en el volumen de la explotación de petróleo crudo y en el tiempo de vida del yacimiento.²¹⁵

Dentro de las primeras problemáticas que se presentaron, ocurrió una invasión del lodo utilizado para la perforación de los pozos. Principalmente el descenso en la producción de Cantarell comienza por las fracturas en las cavernas permeables, lo cual disminuyó la presión del pozo. Esto provocó que la estrategia de extracción disminuyera y como solución se perforó a menor distancia.

Además se comenzó la quema de gas de manera inmediata, en lugar de realizar los estudios con pozos de evaluación, y sin la evaluación de un programa de planeación, desarrollo y explotación del Activo.²¹⁶

Como consecuencia de los problemas mencionados anteriormente, PEMEX decide abandonar los pozos superficiales prematuramente, sin aplicar las medidas necesarias para su recuperación mejorada o abandono de manera correcta.²¹⁷

Durante el año 1981 se planteó la previsión de la fase de caída en la producción de el Activo Cantarell.²¹⁸ Por tales razones se optó por aplicar

²¹⁴ Revista Petróleo & Energía, Noviembre 2012.

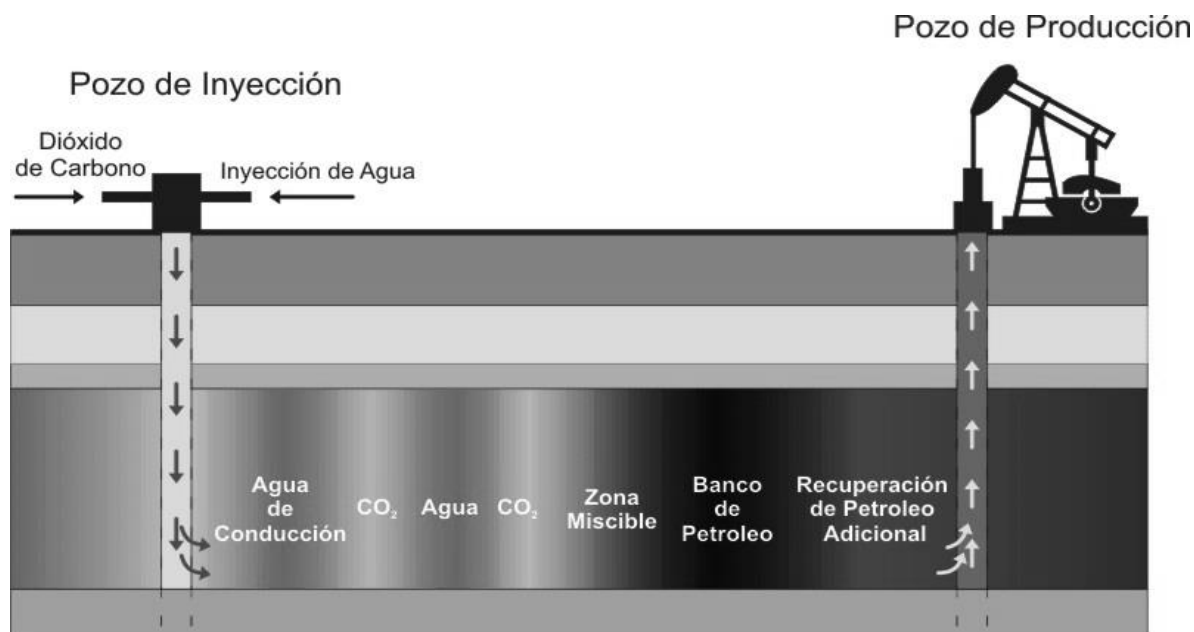
²¹⁵ Barbosa Cano, Fabio, El potencial petrolero de México en la era post Cantarell, 2007.

²¹⁶ Lajous, Adrián, El ocaso de Cantarell, Nexos, 2009.

²¹⁷ www.pemex.com.

²¹⁸ Analizan Opciones de Recuperación Secundaria para Campos del Área Reforma. Revista Petróleo Internacional. Noviembre de 1977. Autor: Francisco Garaicochea.

inyección de agua en los pozos.²¹⁹ . Esto trajo como consecuencia la incorporación de agua al volumen del crudo y de manera más costosa, la detención del proyecto y un inversión por infraestructura de miles de pesos que al final no funcionó.²²⁰



Fuente: PEMEX²²¹.

Figura 4.10: Proceso de Inyección de Agua.

En el año 2000, PEMEX cede la asesoría a la empresa Netherland Sewell²²², la cual plantea la incorporación de una Planta de inyección de Nitrógeno como parte de la infraestructura del proceso de extracción en Cantarell. El inicio de inyección de Nitrógeno comienza en el 2001, inicialmente la producción se eleva en un 20 a 30% (en capítulos anteriores se observa en las gráficas de producción histórica de Cantarell el aumento de manera importante). De manera conjunta se aumenta a la infraestructura tuberías de producción de amplio diámetro²²³. El Ing. Guillermo Ortega plantea que la producción comienza a incrementarse al

²¹⁹ Memorias de Labores 1982, PEMEX.

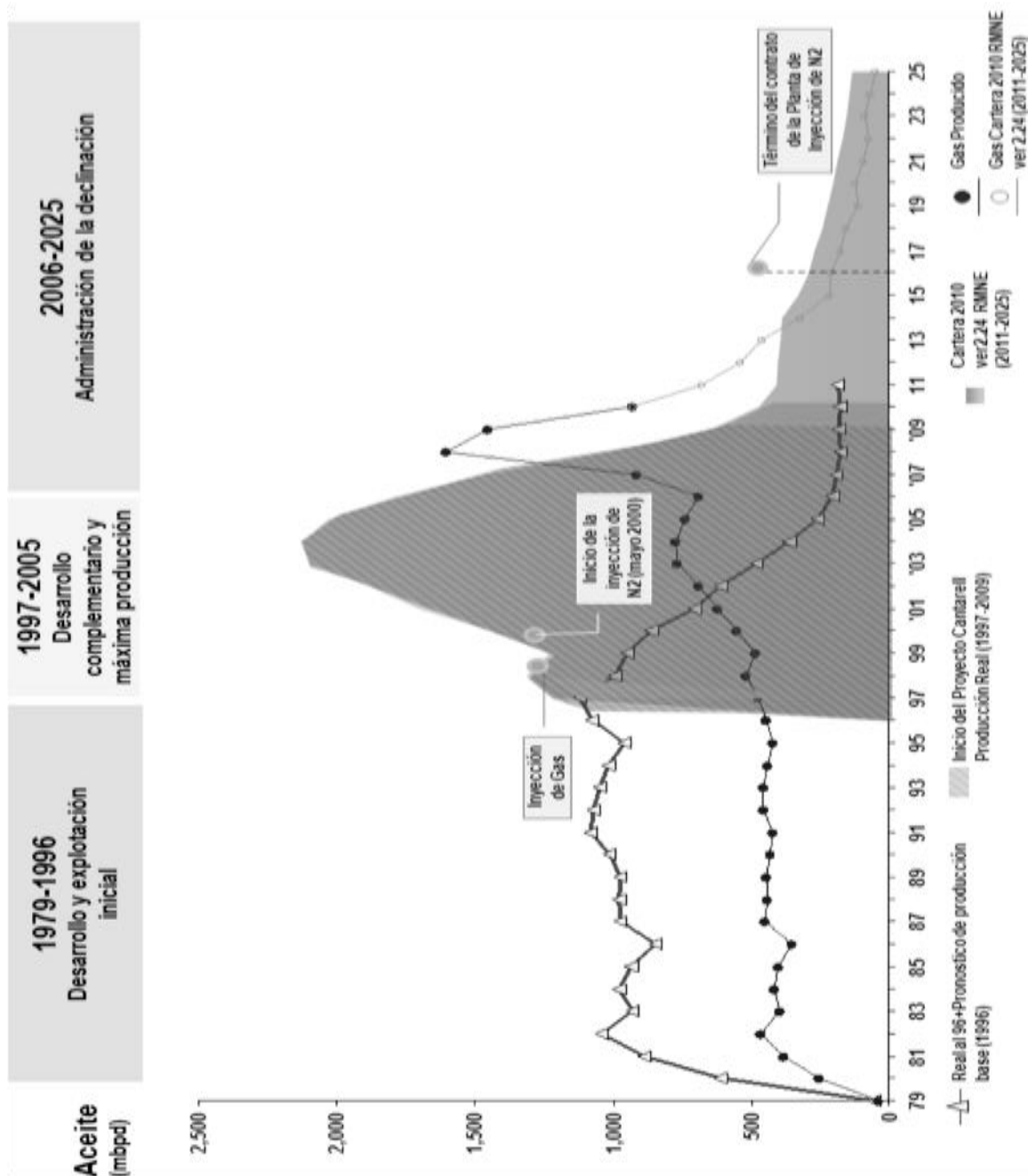
²²⁰ Álvarez de la Borda, Joel, Crónicas del petróleo en México, Archivo histórico de Petróleos Mexicanos, PEMEX.

²²¹ www.pemex.com.

²²² Memorias de Labores 2001, PEMEX.

²²³ Revista Ingeniería Petrolera de abril del 2000.

momento que se incorpora el nuevo sistemas de tuberías, y posteriormente se implementa la inyección de Nitrógeno en el pozo. ²²⁴²²⁵



Fuente: PEMEX

Figura 4.11: El futuro de Cantarell.

²²⁴ Ing. Guillermo Ortega, miembro del Grupo de Ingenieros PEMEX Constitución del 17.

²²⁵ Francisco Garaicochea Analizan Opciones de Recuperación Secundaria para Campos del Área Reforma. Noviembre de 1977. Revista Petróleo Internacional.

A pesar de los esfuerzos por aumentar la producción e incrementar el tiempo de vida de Cantarell, los esfuerzos no fueron satisfactorios, ya que en el año 2004, Cantarell llega a su pico máximo de producción.²²⁶

En sus diferentes artículos sobre Cantarell escritos por analistas, Barbosa, Lajous, Garaicochea, entre otros, estudian los errores cometidos en el pasado con respecto a los contratos, licitaciones e infraestructura implementados, los cuales afectaron directamente la estructura y presión de Cantarell. Situación que provocó la baja producción actualmente en los pozos del proyecto. También plantean una visión del futuro de Cantarell en la cual era el petróleo de fácil acceso en México ha llegado a su fin.

De igual forma proponen la correcta continuación en la explotación de Cantarell durante los siguientes años, así como la implementación de un plan correcto de abandono. Todo esto conlleva la implementación de EOR e infraestructura para dar durabilidad y eficiencia en los volúmenes de explotación del yacimiento figura (4.11).

Además plantean utilizar y aprender los errores cometidos en Cantarell, con la finalidad de prever futuros problemas en los proyectos que actualmente están desarrollo.

4.12 El papel de Cantarell en la economía de México

El incremento constante de los precios de los petrolíferos en el mercado interno desde principios del 2000 y la recuperación sostenida de los precios en el mercado internacional a partir de 2002, ayudaron en la recuperación de los ingresos petroleros y, por tanto, de los impuestos correspondientes. Aunado a esta mejora en el mercado internacional, Cantarell obtuvo los mayores volúmenes de producción hasta el 2004.

²²⁶ www.pemex.com.

Tal es la importancia de Cantarell que en el 2006 a pesar de encontrarse en proceso de declinación, obtuvo ingresos superiores a los 100,000 dólares diarios, cifra que significó cerca del 40% de ingresos para el gobierno federal.

Tomando en cuenta que Cantarell aportó mas del 50% de la producción nacional durante varios años y que PEMEX aportó 40 centavos de cada peso ingresado al gobierno, podemos determinar que cada 20 centavos de ingresos federales eran obtenidos del yacimiento Cantarell. La caída que comienza en el 2004 en la producción provoca un déficit de millones de pesos, situación que ha la fecha no ha logrado ser controlada aún cuando Ku Maloob Zaap logra estabilizar la caída en la producción pero sin obtener los volúmenes generados por Cantarell.

PEMEX debe de tomar en cuenta que no será la excepción respecto a los riesgos e impacto de la crisis económica internacional, en particular por la dependencia con Estados Unidos. Por ello, adquiere una gran relevancia extraer lecciones para el futuro sobre el contrastante desempeño que registró la economía mexicana desde la expropiación del petróleo hasta el 2013, período en el que prácticamente se pueden distinguir dos escenarios en los que la renta petrolera tuvo un impacto y un destino distinto.

Discusión de Resultados

México ha ocupado un papel fundamental en el desempeño del mercado petrolero internacional, por su relación de negocio con el mercado norteamericano y su posición frente a las estrategias de negocio impulsadas por la Organización de Países Exportadores de Petróleo y de otros jugadores importantes.

El macro yacimiento Cantarell ha sido una de las principales fuentes de producción de petróleo –y gas natural- desde finales de los 70's y ha sido la base actual de la industria petrolera nacional, y en particular de Petróleos Mexicanos, la cual en 2009 se posicionó dentro de las 10 empresas con mayor producción diaria de petróleo, ocupando el séptimo lugar mundial como una de las principales empresas petroleras.

En México existe un potencial petrolero de gran magnitud, esto se demuestra en los yacimientos que actualmente se encuentra explotando, entre los cuales tenemos: Cantarell, Chicontepec, Ku Maloob Zaap, Burgos, etc. Este potencial de reservas y producción debe de ser aprovechado, maximizando los volúmenes de producción total de los pozos, ya que en Cantarell se trato de extraer la mayor cantidad en el menor tiempo, pero sus métodos de extracción no fueron los más adecuados.

La producción de petróleo en PEMEX hasta el año 2004 tuvo un crecimiento significativo año con año desde 1979. En gran parte se debió al descubrimiento y aportación de Cantarell. Esto trajo como problema en PEMEX, que existiera una completa dependencia en la producción nacional hacia Cantarell; y como consecuencia en el momento en que este comenzó a producir menos volúmenes de crudo provocó que la producción nacional también bajara, pero

sobre todo se tuviera que reorientar la estrategia de negocio en materia de exploración y explotación de hidrocarburos en el país.

De esa manera la reducción en la producción, a la par de la caída de las reservas de hidrocarburos, llevaron a PEMEX a la exploración de nuevas zonas potenciales para la extracción de petróleo. Actualmente ese proceso está dando resultados al incorporar nuevas reservas en la zona de Perdido, Litoral Tabasco y enfrente de las Costas de Veracruz.

Cantarell se posicionó como uno de los principales campos petroleros a nivel mundial, sus reservas originales de 20 mmmbpce lo pusieron como el sexto campo más importante del mundo y el segundo más importante tipo costa afuera.

En México, Cantarell demostró su importancia contribuyendo con porcentajes de producción nacional del 56.8% del 2000 al 2007, lo que ha explicado el desempeño de la petrolera paraestatal, y sus habilidades acumuladas en campos costa fuera no profundos, pero también el que se haya apartado de la atención a otras actividades como la refinación, petroquímica y el transporte de hidrocarburos, pero lo más preocupante a reducir el volumen de reservas probadas de crudo y gas natural y acumular rezagos en el desarrollo de tecnología para afrontar los retos en exploración y explotación de otros campos.

Las Memorias de Labores de PEMEX de 1979 al 2009, nos muestran en los primeros años un énfasis en la implementación de tecnología e infraestructura con la finalidad de propiciar la eficiencia en las operaciones de campo Cantarell, desde ductos hasta plantas de inyección. Lo cual dio resultados durante estos años al incrementar los volúmenes de explotación. Lamentablemente los últimos años se observa un descenso en la inversión de capital e infraestructura en Cantarell, debida en gran parte a su declinación natural, pero sobre todo a las mayores dificultades enfrentadas para acceder el petróleo por la pérdida de presión y el avance del agua dentro del yacimiento.

La producción de Cantarell de 1979 a la fecha observa una curva de producción anormal en comparación a la declinación normal en la explotación de pozos, atribuible a la administración del campo. Esto se puede atribuir a los diferentes tipos de recuperación mejorada que se aplicaron en Cantarell, desde inyección de gas, agua y nitrógeno, métodos que al no funcionar provocaron rompimiento en la permeabilidad de las paredes de los pozos, invasión de agua-aceite, pérdida de presión y abandono de pozos sin analizar las causas en la pérdida de presión.

La evolución en el rendimiento económico de Cantarell no solo se debió a las malas decisiones en la implementación de tecnología de extracción, también existieron factores políticos y económicos, tal es el caso de la política situación económica que ha enfrentado el país desde finales del año 1981. Así el primer impacto se gestó con la crisis de liquidez de 1982, en donde se acudió a la extracción del crudo para neutralizar la falta de divisas. Después en la crisis del mercado petrolero internacional de 1986, también la producción de petróleo se empleo para contrapesar los efectos del aumento en el endeudamiento de México.

Si bien la renegociación de la deuda externa de 1990 fue un respiro para la situación económica del país, y también para las finanzas de la petrolera estatal, en la crisis de diciembre de 1994, la producción de petróleo, comandada por Cantarell, sirvió tanto para generar ingresos para neutralizar la crisis de liquidez como para jugar el papel de garantía de los prestamos contratados en los mercados internacionales.

Afortunadamente en 2004 comienza una estabilización en los precios del barril de petróleo, lo cual permite que PEMEX capte mayores recursos, y por tanto los ingresos del gobierno se hayan fortalecido. Esta situación predominó hasta la fecha, en el 2011 se registraron precios del barril superiores a los 100 dólares.

Desde la caída de la producción en Cantarell se ha tratado de compensar la pérdida en la producción por medio de nuevos yacimientos, pero lamentablemente no ha habido una recuperación total en los volúmenes de producción nacional.

Cabe destacar que originado de la administración de las operaciones en Cantarell se gestó un problema en el ámbito ambiental, por la quema de gas que fue un problema durante particularmente a finales de la década anterior. Lo cual de manera absurda generó pérdidas de millones de pesos. Actualmente la Comisión Nacional de Hidrocarburos se encuentra regulando la quema de gas en Cantarell, y se ha llegado a disminuir.

Otra problemática en Cantarell fue que aún cuando se encuentra constituidos por Chac, Akal, Nohoch, Sihil, Kutz e Ixtoc, el mayor volumen de producción se concentró en Chac (el cual contenía el 92% del volumen de reserva original del yacimiento), lo cual nos da a entender que PEMEX no solo basó su producción en un yacimiento, si no que todo el peso de la producción nacional se encontraba en un solo campo.

Como se mencionó Cantarell se encuentra dentro del área de la RMNE, esta región durante los últimos 30 años ha mantenido la producción nacional de petróleo. Tal es la importancia de la RMNE que se considera que producía en el 2004 más que el conjunto de pozos de la región correspondiente de los Estados Unidos de América en la parte del Golfo de México.

Si se tomaran en cuenta el abandono que PEMEX dio a algunos pozos de Cantarell que aún son viables de explotación, se podría incrementar la producción pero lamentablemente la mayoría de estos fueron abandonados de forma incorrecta, lo cual dificulta retomar su producción de nuevo.

PEMEX comienza el Proyecto Cantarell en 1996 al amparo del denominado Programa Pidiregas (Proyectos de Inversión con Diferimiento en el Gasto), cuyo objeto fue asegurar recursos de inversión para crear infraestructura bajo un enfoque multianual. Dentro de este programa, PEMEX ya planteaba el comienzo de la declinación natural de Cantarell en el año 2006. La empresa petrolera nacional trato de prever los diferentes factores que pudieron afectar al yacimiento pero a pesar de esos esfuerzos las técnicas de explotación no fueron las más indicadas.

En el año 1997, PEMEX comienza un proceso de licitación internacional para poder asignar el contrato de suministro de nitrógeno como parte para construir la planta de nitrógeno más grande del mundo para aumentar la presión del campo. Todo este proceso de mejora y modernización generó una serie de discusiones entre los expertos, en el cual se planteaba de manera correcta que Cantarell no requería de la inyección de nitrógeno; ya que el gas que se quemaba diariamente se podría haber aprovechado para la misma reinyección e incrementar la presión del pozo. Al final después de los malos resultados obtenidos por la inyección de nitrógeno, se comenzó a reinyectar el gas extraído en Cantarell, opción que los analistas habían planteado inicialmente.

El año más importante de Cantarell fue el 2004, ya que a nivel nacional aportó el 63% de la producción nacional con un volumen diario de 2,136 mbd. Esto también se vio reflejado a nivel mundial, Cantarell en este año apporto el 3% de la producción mundial; corroborando su posición como el segundo yacimiento de costa afuera en el mundo.

La decisión de comenzar el proceso de recuperación mejorada en Cantarell, se implemento a pesar de que Cantarell aún no se encontraba en su proceso de declinación natural. Entre 2000 y 2003, los volúmenes de producción aumentaron de manera satisfactoria, pero para finales del tercer año comenzaron los problemas técnicos en los pozos y en la calidad del crudo; razón por la que

comienza el declive provocado por las malas decisiones en la operación. Y sorpresivamente en el 2004 comenzó la declinación del yacimiento; 2 años antes de lo esperado, situación que a la fecha ha creado repercusiones en la producción e ingresos de PEMEX.

Las revisiones realizadas a la producción nacional y Cantarell nos permiten corroborar la excesiva dependencia que PEMEX hacia ese campo, la cual fue siendo desplazada poco a poco con otro macro yacimiento denominado Ku Maloob Zaap el cual se ha convertido en el principal aportante de petróleo crudo a la producción nacional desde el año 2010.

A pesar de que Cantarell basa su producción en crudo, también tiene significativos niveles de producción de gas natural (aunque como se mencionó anteriormente, gran parte de este gas es quemado o reinyectado).

Cantarell ha producido ingresos significativos en PEMEX, pero con el descenso en la producción desde el 2005 se han dejado de percibir cerca de 106, 829, 000 dólares por día. Este punto es crítico ya que con el alza superior a los 100 dólares en el precio del barril, el costo de oportunidad ha sido enorme. Esto debe de quedar como un ensayo y error para PEMEX en caso de que localice un nuevo mega yacimiento o para los yacimientos futuros en los cuales se implementaran técnicas de recuperación mejorada.

Las inversiones destinadas al Proyecto Cantarell han ido disminuyendo con los años (de 63,064 millones de pesos en el 2009 hasta 54,813 millones en el 2012), en gran parte debido al descenso constante en la producción en Cantarell. En el presupuesto del 2012, la inversión asignada a Cantarell fue de 54,813 millones de pesos, la cual es mucho menor en comparación con los años anteriores. No obstante, aún es el principal proyecto petrolero de la nación.

Actualmente la asignación de los ingresos destinados a Cantarell se encuentran enfocados hacia las áreas de producción y desarrollo, lo cual nos da a entender que PEMEX solo requiere de explotar sus pozos hasta el momento en que ya no sea rentable, aproximadamente en el 2030, todo esto junto con algunos proyectos como el venteo de gas, abandono del yacimiento, ecología, etc.

Conclusiones

- Cantarell se identifica como de los principales macro yacimientos de petróleo y gas natural del planeta. El volumen de producción extraído fue sin duda de apoyo a los gobiernos en turno por los ingresos generados, y por el papel que México jugó en el mercado petrolero internacional, primero buscando ser un abastecedor seguro de Estados Unidos, y después siendo base de generación de recursos para el gobierno mexicano.
- México se posicionó hasta el 2009 como uno de los países más importantes en producción de petróleo a nivel mundial gracias a la producción de Cantarell la cual representaba más del 50% del total nacional entre 2000 al 2006, por lo que requiere de enfocar sus inversiones en exploración e investigación de nuevas tecnologías.
- La experiencia obtenida en PEMEX con los errores cometidos en Cantarell, debe de ser aprovechada con mira hacia el futuro de nuevos hallazgos y tecnologías.
- El potencial petrolero de México es alto, por lo que se tiene que continuar en la búsqueda de la incorporación de reservas, y no cometer el error de enfocar la producción nacional a un solo proyecto
- Cantarell representó más del 50% de producción nacional durante varios años e incluso llegó a representar el 3% del volumen de producción internacional, lo cual demuestra su importancia a nivel mundial.

- Durante los primeros años la administración de la explotación de Cantarell se encontraron planificados de manera correcta, la problemática surgió con el entorno mundial y el mercado petrolero, pero sobre todo con la difícil situación económica en México.
- La búsqueda del aumento en la producción en Cantarell, provocó que se aplicaran técnicas que deterioraron la estructura de los pozos y disminuyeron el tiempo de vida del yacimiento.
- PEMEX requiere elevar la eficiencia de su infraestructura para evitar cometer los errores que ocurrieron en Cantarell, respecto a la administración del periodo de vida productiva del campo. La declinación de Cantarell ocurrió de manera natural, pero también fue generado por la implementación de técnicas no aptas y que no se ejecutaron de manera correcta.
- La dependencia de PEMEX hacia Cantarell en materia de producción provocó que no se impulsara el desarrollo de otros campos o la búsqueda de nuevas alternativas de producción.
- La construcción de la controversial planta de nitrógeno debió de haber sido analizada con más cuidado, además de tomar en cuenta la posición de los analistas que estaban inconformes con la decisión.
- Cantarell fue el detonante para colocar a PEMEX en el mapa de las industrias petroleras más importantes, sus volúmenes de producción y reservas colocaron han proporcionado importantes recursos a la nación, las cuales no necesariamente se han aprovechado para el beneficio de los dueños de la petrolera, es decir para los mexicanos.

Bibliografía

- Aguilar, J. D. (2011). La planta de nitrógeno más grande del mundo, Obras.
- Álvarez, B. J. (2006). Crónicas del petróleo en México, Archivo histórico de Petróleos Mexicanos, PEMEX.
- Anuario estadístico, 2009, PEMEX.
- Ariel, C. R. (2009). Situación del mercado internacional del petróleo. Comisión Nacional de Energía Atómica, Boletín energético No 14, Argentina.
- Arturo, H. J. (2008). Origen, evolución e importancia económica petrolera del campo Cantarell, en la sonda de Campeche, PEMEX.
- Barbosa C. F. (2007). El potencial petrolero de México en la era post Cantarell.
- British Petroleum Statistical review of energy: Proved reserves, 2009.
- Cantú, Ch. A. (2001). Subsurface upper jurassic stratigraphy in the Campeche Shelf, Gulf of México, IPN.
- Centro de estudios de las finanzas públicas. Análisis al paquete económico 2011 en materia de ingresos. Septiembre 2011.
- Centro de estudios de las finanzas públicas. Análisis al paquete económico 2011 en materia de ingresos. Septiembre 2011.
- Chang, R. (2006). Principios Esenciales de Química General, Cuarta edición, McGraw-Hill, Madrid.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos, Factores de recuperación de aceite y gas en México, 2010.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos, Factores de recuperación de aceite y gas en México, 2010.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos, Reporte de Cantarell 2011.

- Documento para cumplir con las disposiciones técnicas para la quema y venteo de gas, Anexo a.- Manifiesto, Activo Integral Cantarell, Junio 2011.
- European-Latin American Relations. Cronología de las relaciones entre Europa Occidental y América Latina. Ed. Irela; 1986.
- Garaicochea, F. (1977). Analizan Opciones de Recuperación Secundaria para Campos del Área Reforma. Revista Petróleo Internacional.
- Garaicochea, F. (1988). Temas Selectos sobre la Caracterización y la Explotación de Yacimientos Carbonatados”. Colegio de Ingenieros Petroleros de México.
- Garaicochea, P. F. (2006). La explotación irracional de Cantarell, su origen, su costo y como evitarla.
- Gershenson, A. (2012). ¿Quiénes echan al pozo a Pemex?, La Jornada.
- Hernández, G. (1997). Cantarell: Historia y situación actual, Boletín UNAM.
- Herrera, N. R. (1979). OPEP sus Relaciones Económicas Internacionales. Mérida, Venezuela: ULA (facultad de Economía).
- Holguín, Q. N. (1985). Evaluación geoquímica del sureste de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. V. 37, No. 1.
- Informe de Inversiones, CNH, Marzo 2012.
- Jaime, R. G. (2003). Implicaciones tectónicas y económicas del descubrimiento de gas en la discordancia cretácico medio mioceno inferior del atolón de la faja de oro marina en el modelo de la triple unión para el origen del Golfo de México, IPN.
- Jiménez, A. (2010). La crisis petrolera de 1982, La Economía.
- Juste R. J. (2001). La práctica internacional en materia de responsabilidad por accidentes industriales, catastróficos, Ed. Tirant Lo Blanch.
- Klark W. R. (1973). La economía mexicana: su estructura y crecimiento en el siglo XX, FCE.
- Lajous, A. (2009) El Ocaso de Cantarell, Nexos.
- Manrique, E. (2010). Estatus de la recuperación mejorada de petróleo, Tiorco.
- Martínez, J. (2000) Ecuador, El GATT agropecuario y la OMC.

- Méndez, O. (2000). La OPEP, Logros y Retos. Caracas, Venezuela: Ediciones Divulgativas, PDVSA.
- Meneses, G. (1970) El Petróleo en México: unas referencias antes de su explotación, UNAM.
- Meneses, G. J. (1980). Geología de la Sonda de Campeche. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. V. 32, No. 1, p. 1-26.
- PDVSA-CIED, *Métodos de Recuperación Mejorada con Aditivos Químicos*, Instituto de Desarrollo Profesional y Técnico, Caracas, 1998.
- Peláez, Z. R. (2009). Cantarell ayer y hoy ... , Revista Economía.
- PEMEX Exploración y producción, Reservas de Hidrocarburos, 1999.
- PEMEX, Análisis costo beneficio: proyecto Cantarell, Octubre 2012.
- PEMEX, Exploración y producción, 1999.
- PEMEX, Los 25 Principales Desafíos de Petróleos Mexicanos, 2008.
- PEMEX, Memoria de Labores 1979, 1979.
- PEMEX, Memoria de Labores 1980, 1980.
- PEMEX, Memoria de Labores 1981, 1981.
- PEMEX, Memoria de Labores 1982, 1982.
- PEMEX, Memoria de Labores 1983, 1983.
- PEMEX, Memoria de Labores 1984, 1984.
- PEMEX, Memoria de Labores 1985, 1985.
- PEMEX, Memoria de Labores 1986, 1986.
- PEMEX, Memoria de Labores 1987, 1987.
- PEMEX, Memoria de Labores 1988, 1988.
- PEMEX, Memoria de Labores 1989, 1989.
- PEMEX, Memoria de Labores 1990, 1990.
- PEMEX, Memoria de Labores 1991, 1991.
- PEMEX, Memoria de Labores 1992, 1992.
- PEMEX, Memoria de Labores 1993, 1993.
- PEMEX, Memoria de Labores 1994, 1994.
- PEMEX, Memoria de Labores 1995, 1995.
- PEMEX, Memoria de Labores 1996, 1996.

- PEMEX, Memoria de Labores 1997, 1997.
- PEMEX, Memoria de Labores 1998, 1998.
- PEMEX, Memoria de Labores 1999, 1999.
- PEMEX, Memoria de Labores 2001, 2001.
- PEMEX, Memoria de Labores 2002, 2002.
- PEMEX, Memoria de Labores 2003, 2003.
- PEMEX, Memoria de Labores 2004, 2004.
- PEMEX, Memoria de Labores 2005, 2005.
- PEMEX, Memoria de Labores 2006, 2006.
- PEMEX, Memoria de Labores 2007, 2007.
- PEMEX, Memoria de Labores 2008, 2008.
- PEMEX, Memoria de Labores 2009, 2009.
- PEMEX, Memoria de Labores 2010.
- PEMEX, Memorias de Labores de 1979 a 2009.
- PEMEX, Memorias de Labores, 2011.
- PEMEX, Presentación al Congreso mexicano del Petróleo, Agosto 2010.
- PEMEX, Programa para incrementar la eficiencia operativa en PEMEX y sus organismos subsidiarios, Junio 2008.
- PEMEX, Proyectos de Petróleos Mexicanos, 2009.
- Pemex, Reporte Anual 2005 a la SEC del gobierno de EE.UU. en Washington.
- PEMEX, Reserva de Hidrocarburos 2003.
- PEMEX, Reservas de Hidrocarburos 2009, 2009.
- PEMEX, Reservas de hidrocarburos 2010.
- PEMEX, Reservas de Hidrocarburos en México, 2007.
- Peralta, B. M. (2007). Cantarell: su historia y situación actual, PEMEX.
- Plan de negocios de Petróleos Mexicanos, 2010.
- Plan de Negocios, PEMEX, 2010.
- Proyecto Cantarell, PEMEX PEP, Abril 17, 2009.
- Proyectos Presupuestarios derivados del Artículo Cuarto Transitorio de la LFPRH (Pifideps) del PEF 2009.

- Rangel, E. (2011). El potencial de la recuperación mejorada de petróleo en México, Energía a debate.
- Revista Ingeniería Petrolera de abril del 2000.
- Ricardo, J. P. (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.
- Romero, I. M. (2001). Subsistemas Generadores del Área Marina de Campeche, México. En Subsistemas Generadores de México. Boletín de la asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol XLIX, No 1-2.
- Rosenfeld, J. H. (2002). El potencial económico del Bloque de Yucatán en México, Guatemala y Belice. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LV, No. 1.
- Salager, J. (2005) Recuperación mejorada del petróleo, Universidad de los Andes, Venezuela.
- Santamaría O. D. (2007). Grandes intercomunicaciones de aceite crudo en campos petroleros de México: aplicación de la geoquímica de yacimientos, Exploración IMP.
- Secretaria de energía, “Estrategia nacional de energía”, Febrero 2011.
- SENER, “Prospectiva del mercado de petróleo crudo 2010-2025”, Gobierno Federal, 2011.
- Statistical review of world energy full report 2012.
- Valencia, G. N. (2000). La industria petrolera mexicana, Distrito Federal, México, IMP.

Direcciones de Internet

<http://energiaadebate.com/el-potencial-de-la-recuperacion-mejorada-de-petroleo-en-mexico>.

<http://ingenieria-de-yacimientos.blogspot.com/2008/12/mtodos-de-recuperacin-mejorada-eor.html>.

http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.

www.apartados.hacienda.gob.mx/presupuesto/temas/pef/2009/index.html.

www.banxico.com.

www.bp.com.

www.cefp.gob.mx.

www.chss.montclair.edu/english/furr/gulfwar2.html.

www.cnh.com.

www.economia.terra.com.mx/noticias/noticia.aspx?idNoticia=201111212038_REF_80512620.

www.fed.gov.

www.futuresource.com.

www.geology.geoscienceworld.org/content/28/4/307.abstract.

www.gibsonconsulting.com.

www.inegi.com.

www.lastrestunas.blogspot.mx/2005/05/acuerdo-de-san-jose-1980.html

www.muchapasta.com/b/var/OPEP.php.

www.oilmarketreport.org.

www.opec.org.

www.opec.org.

www.pemex.com.

www.petroperu.com.

www.shcp.gob.mx.

www.shell.com.mx

www.sie.com.

www.slb.com.

www.statoil.com

www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=38466&tablafinanzas.

www2.exxonmobil.com

Índice de Tablas

| Página | Nombre |
|--------|--|
| | Capítulo 1 |
| 3 | Tabla 1.1 Producción mundial de petróleo en el 2011 |
| 8 | Tabla 1.2: Reservas mundiales de petróleo en el 2001 y 2011 |
| 10 | Tabla 1.3 Ingreso de los primeros países a la OPEP |
| 20 | Tabla 1.4 Tipos de crudo que se producen en México |
| | Capítulo 3 |
| 54 | Tabla 3.1 Principales campos petroleros a nivel mundial |
| 58 | Tabla 3.2: Principales volúmenes de producción de Cantarell |
| 59 | Tabla 3.3 Evolución del porcentaje de Cantarell a nivel nacional. |
| 71 | Tabla 3.4 Volúmenes originales de Cantarell |
| 72 | Tabla 3.5 Volúmenes de inyección aplicados a Cantarell |
| 72 | Tabla 3.6 Tipos de Reservas de Cantarell 2012 |
| 73 | Tabla 3.7 Volúmenes de reservas en los pozos mas importantes de Cantarell del 2012 |
| | Capítulo 4 |
| 75 | Tabla 4.1 Porcentaje de producción en Cantarell a nivel mundial y en México. |
| 98 | Tabla 4.2 Inversión asignada en el 2012 por activo (millones de pesos) |
| 100 | Tabla 4.3 Calendario Fiscal de Cantarell |
| 103 | Tabla 4.4 Inversión Asignada en Cantarell por actividad |
| 108 | Tabla 4.5 Componentes del gas en Cantarell |

Índice de Figuras

| Página | Nombre |
|--------|---|
| | Capítulo 1 |
| 4 | Figura 1.1: Producción mundial de petróleo 2009. |
| 5 | Figura 1.2: Mapa de los porcentajes de producción mundial de petróleo. |
| 7 | Figura 1.3: Mapa de reservas mundiales |
| 11 | Figura 1.4: Mapa de los países pertenecientes a la OPEP durante los primeros años |
| 21 | Figura 1.5: Producción histórica de petróleo en PEMEX |
| 22 | Figura 1.6: Reservas nacionales del 2005 al 2012 |
| | Capítulo 3 |
| 56 | Figura 3.1: Evolución histórica de la producción de crudo en Cantarell. |
| 57 | Figura 3.2: Evolución histórica de la producción de crudo en Cantarell y los diferentes factores que influyeron en su producción. |
| 60 | Figura 3.3: Ubicación geográfica de Cantarell. |
| 61 | Figura 3.4: Distribución geográfica de las regiones de la zona del Golfo de México. |
| 63 | Figura 3.5: Pozos de la Región Marina Noreste. |
| 64 | Figura 3.6: Cantarell. |
| 65 | Figura 3.7: Conformación de Cantarell |
| 67 | Figura 3.8: Mapa sísmico de Cantarell. |
| 68 | Figura 3.9: Columna estratigráfica de Cantarell. |
| 69 | Figura 3.10: Cinturón plegado Reforma Akal. |
| | Capítulo 4 |
| 79 | Figura 4.1: Precio promedio anual de la mezcla mexicana de crudo. |
| 84 | Figura 4.2: Producción de crudo en México y Cantarell. |
| 86 | Figura 4.3: Principales Activos productores en México. |

- 88 Figura 4.4: Producción de gas natural en México y Cantarell.
- 90 Figura 4.5: Producción de gas natural en Cantarell.
- 93 Figura 4.6: Producción de crudo en Cantarell por pozo.
- 95 Figura 4.7: Ingresos diarios de Cantarell.
- 102 Figura 4.8: Montos de inversión modificado y planeado en Cantarell.
- 107 Figura 4.9: Planta de Nitrógeno Atasta.
- 111 Figura 4.10: Proceso de Inyección de Agua.
- 112 Figura 4.11: El futuro de Cantarell.

Glosario

| | |
|-----------|--|
| OPEP | Organización de Países Exportadores de Petróleo |
| EAU | Emiratos Árabes Unidos |
| BP | British Petroleum |
| mbd | Miles de barriles diarios |
| H. | Honorable |
| PEMEX | Petróleos Mexicanos |
| IMP | Instituto Mexicano del Petróleo |
| mbd | Miles de barriles diarios |
| PDVSA | Petróleos de Venezuela |
| mmb | Miles de millones de barriles |
| m | Metros |
| km | Kilómetros |
| °C | Grados centígrados |
| IEPS | Impuesto especial sobre producción y servicios |
| IVA | Impuesto al valor agregado |
| MTBE | Metil terbutil éter |
| PIDIREGAS | Proyectos de infraestructura productiva de largo plazo |
| ppm | Partes por millón |
| mmbpce | Millones de barriles de petróleo crudo equivalente |
| MMMpc | Miles de millones de pies cúbicos |
| MMMpcd | Miles de millones de pies cúbicos diarios |
| No. | Número |
| P. | Página |
| Pp. | Páginas |
| TRIMPTRI | Predicción del comportamiento de yacimientos de aceite |

| | |
|-------|---|
| | negro |
| Ed. | Editorial |
| OCDE | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos |
| GATT | Acuerdo General sobre Aranceles de Aduana y Comercio |
| TLC | Tratado de libre comercio |
| TLCAN | Tratado de Libre Comercio de América del Norte |
| ONU | Organización de las naciones Unidas |
| EUA | Estados Unidos de América |
| RMNE | Región Marina Noreste |
| ECA's | Agencias de crédito a la exportación |
| NOM | Norma Oficial Mexicana |
| FIEX | Fondo de ingresos excedentes |
| ° | Grados |
| ' | Minutos |
| '' | Segundos |
| N/A | No aplica |
| N | Nitrógeno |
| % | Por ciento |
| SIE | Sistema de información energética |
| WTI | West Texas Intermediate |
| PEP | PEMEX exploración y producción |
| PEF | Presupuesto de egresos de la federación |
| CNH | Comisión Nacional de Hidrocarburos |
| BTU | British Thermal Unit |
| FT | Pies |
| Ing. | Ingeniero |
| Dr. | Doctor |