

**CONCEPTOS BÁSICOS DE LA INDUSTRIA DE PETRÓLEO Y GAS:
CLAVES PARA ENTENDER OPERACIONES OFFSHORE**

10 de junio de 2022

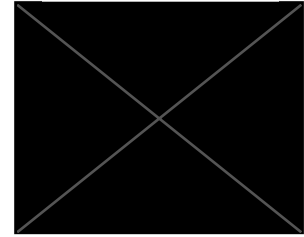
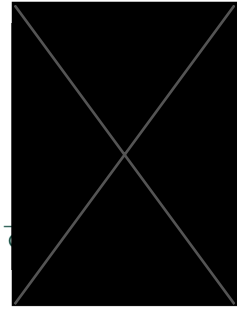


Table of Contents

Resumen Ejecutivo	3
<i>Introducción a la industria del petróleo y gas en México: conceptos básicos de offshore.....</i>	5
<i>Formación de hidrocarburos y tipos de crudo.....</i>	5
<i>Reservas petroleras</i>	8
<i>Nociones básicas sobre la industria petrolera</i>	10
<i>Conceptos básicos de los proyectos offshore: tipos de proyectos e infraestructura.....</i>	12



Resumen Ejecutivo

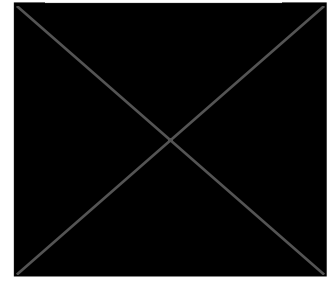
El objetivo de este reporte es hacer un repaso de los conceptos básicos para entender el sector de petróleo y gas, así como las operaciones offshore en la industria. A continuación, se señalan los conceptos más importantes:

Formación de hidrocarburos y tipos de crudo

- Las reservas de hidrocarburos son concentraciones de materia orgánica que fueron sepultadas por capas de sedimento en ambientes con poca oxigenación, altas temperaturas y grados de presión. En las condiciones correctas, conocidas como ventana de petróleo a temperaturas entre 50 y 175 grados centígrados, la materia orgánica se reconfigura en cadenas de hidrocarburos.
- Los hidrocarburos se acumulan en rocas madres. La composición de la materia orgánica en las rocas madres cambia a medida que madura. Los cambios en densidad y volumen facilitan que los hidrocarburos escapen de la roca madre y migren por sedimentos porosos y permeables, avanzando entre capas geológicas hasta alcanzar reservorios en el subsuelo que almacenan el recurso. Son estos reservorios los que se explotan para extraer los hidrocarburos del subsuelo.
- Las características químicas del petróleo determinan la facilidad con la que el crudo puede ser extraído, transportado y procesado, afectando por ello su valor comercial. Las características más importantes son los grados API y el contenido de sulfuro, siendo los crudos más deseados las mezclas ligeras y dulces. El crudo mexicano, conocido como maya, es una mezcla relativamente pesada y amarga.

Reservas petroleras

- Se entiende como reservas petroleras al volumen total de hidrocarburos comercialmente recuperables que hayan sido descubiertas, sea técnicamente posible recuperarlas, sea económicamente factible desarrollarlas y se encuentren todavía en el subsuelo.
- Las reservas de hidrocarburos se clasifican en un sistema de 3P, que incluye: 1P, reservas probadas; 2P reservas probables; y 3P, reservas posibles. Se estima que las reservas clasificadas como 1P tienen 90% de posibilidades de ser desarrolladas de forma exitosa, mientras que la probabilidad de éxito en las 3P cae a 10%.

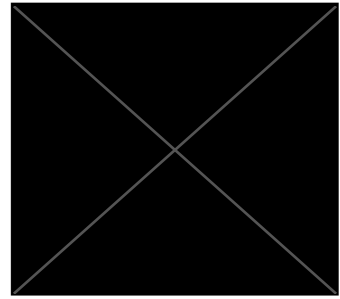


Nociones básicas sobre la industria petrolera

- El sector de hidrocarburos se divide en tres segmentos: upstream (exploración y producción de petróleo); midstream (transporte de hidrocarburos del punto de producción al punto de procesamiento); y downstream (refinación, procesamiento y venta de productos derivados de los hidrocarburos).
- El upstream incluye actividades de Exploración y Producción (E&P) de petróleo, conocidas en México como Exploración y Extracción. Por lo general, las actividades típicas de un proyecto upstream son: exploración de los recursos; evaluación económica; desarrollo y producción del campo; y, finalmente, desmantelamiento del proyecto.

Conceptos básicos de los proyectos offshore: tipos de proyectos e infraestructura

- Los proyectos de E&P en el upstream se pueden dividir en dos tipos dependiendo de su ubicación: terrestres, denominados onshore en la jerga del sector; y costas afuera, conocidos como offshore.
- Los proyectos offshore se dividen en tres tipos dependiendo de la profundidad a la que se encuentra el suelo marino a perforar respecto al nivel del mar: aguas someras (300 metros de profundidad); aguas profundas (entre 300 y 760 metros de profundidad); y aguas ultra-profundas (entre 760 y 3.6 kilómetros de profundidad). Pasando esta profundidad es poco probable encontrar yacimientos de hidrocarburos dada las condiciones geológicas.
- Los proyectos offshore se llevan a cabo típicamente con cuatro tipos de infraestructura: plataformas sumergibles, jackups, semi-sumergibles y barcos de perforación.
- Es importante notar que las petroleras usualmente no tienen titularidad sobre la infraestructura de perforación, sino que contratan a terceros para el desarrollo de la mayoría de las operaciones. Las afectaciones ambientales recaen en gran medida en estos actores.



Introducción a la industria del petróleo y gas en México: conceptos básicos de offshore

El objetivo de este reporte es hacer un repaso de los conceptos básicos para entender el sector de petróleo y gas, así como las operaciones offshore en la industria. En consecuencia, el objetivo de esta sección es brindar al equipo de Oceana del vocabulario y claridad conceptual para facilitar su acercamiento a temas técnicos y legales en la materia.

Formación de hidrocarburos y tipos de crudo

Las reservas de hidrocarburos en el subsuelo se crearon mediante depósitos de materia orgánica (i.e., plantas y microorganismos) en ambientes con baja oxigenación. Estos depósitos eventualmente fueron enterrados por diferentes capas de sedimentos y cambios tectónicos, condiciones que incrementaron la presión y temperatura. Las condiciones apropiadas para la creación de hidrocarburos se conocen como la ventana de petróleo, la cual hace referencia a condiciones entre 50 y 175 grados centígrados.

En condiciones adecuadas, la materia orgánica se desintegra y reconfigura en cadenas más largas de hidrocarburos, las cuales se almacenan en rocas madre. Una vez más, si las condiciones geológicas son favorables, las madres rocas se acumulan en depósitos de fácil alcance. La composición de la materia orgánica en las rocas madres cambia a medida que madura. Los cambios en densidad y volumen facilitan que los hidrocarburos escapen de la roca madre y migren a través fisuras en sedimentos porosos y permeables, avanzando entre capas geológicas hasta alcanzar reservorios en el subsuelo que almacenan el recurso. Estos reservorios se caracterizan por tener capas superiores impermeables, las cuales crean una trampa física que detiene la migración de los hidrocarburos desde la roca madre hasta sus depósitos finales. Son estos reservorios los que se explotan para extraer los hidrocarburos del subsuelo.

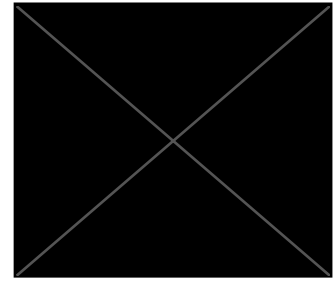
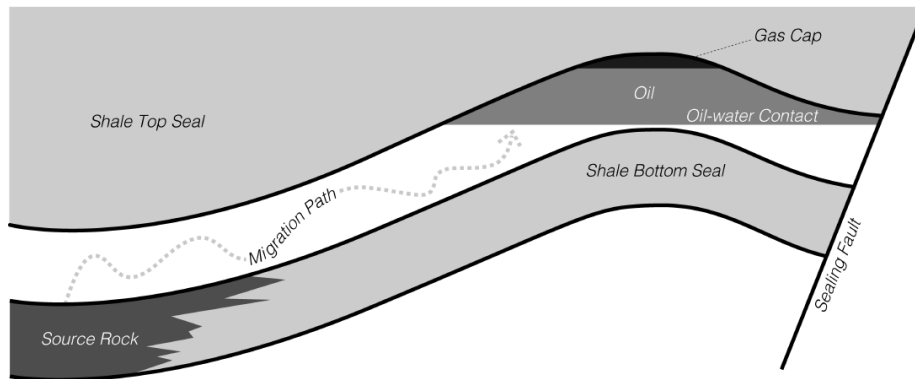


Imagen 1. Sistema de hidrocarburos en el subsuelo

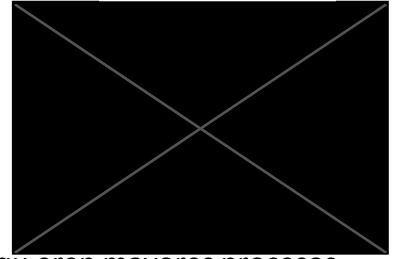


Fuente: Bradford, Travis. *The Energy System*, United States, MIT Press, 2018, p. 673.

Las características de los hidrocarburos varían dependiendo de sus componentes químicos y las condiciones geológicas en las que se formó. Dichas variaciones son relevantes desde el punto de vista comercial, pues diferencias entre tipos de petróleo implican también cambios en los métodos óptimos para explotarlo y procesarlo en refinerías.

Las dos características centrales del petróleo son los grados API y el contenido de sulfuro, las cuáles determinan el valor de mercado del crudo al clasificarlos en diferentes tipos:

- **Grados API.** Escala desarrollada por el American Petroleum Institute (API), este indicador tiene como objetivo medir el grado de ligereza o pesadez del petróleo líquido. Entre más elevada sea el grado API, el líquido es menos denso. El grado de ligereza del petróleo es un indicador clave en la industria petrolera, la cual tiene implicaciones comerciales relevantes señaladas debajo:
 - **Petróleo ligero:** se trata de crudos con 38 o más grados API, el cual tiene una combinación de cadenas más cortas de hidrocarburos. El petróleo ligero tiende a ser más sencillo de extraer y transportar en parte por una cantidad menor de cera en la mezcla lo cuál lo hace más apreciado en el mercado internacional al requerirse menor inversión en procesos industriales para su producción y procesamiento.
 - **Petróleo pesado.** Se trata de crudos con valores API de 22 o menos, por lo que tienen un tango mayor de densidad y mayor viscosidad ante la presencia de cadenas de hidrocarburos más largos y pesados. Como resultado, este



tipo de crudos son más difíciles de explotar y se requieren mayores procesos industriales para romper dichas cadenas para reconfigurar el crudo en combustibles comerciales, lo que incrementa los costos asociados a su explotación.

La mezcla mexicana, conocida como maya, de petróleo cae dentro de esta clasificación; sin embargo, no se trata de la mezcla más pesada en el mercado. En este sentido, los crudos más pesados tienen un valor API menor a 10, por lo que son **crudo extra-pesado** o **bitumen**, como el caso de las reservas de arenas bituminosas en Canadá.

- **Contenido de sulfuro.** El contenido de sulfuro en el petróleo es otro determinante de la calidad del petróleo. El sulfuro en el crudo usualmente se mide como porcentaje del peso total de la mezcla y tiene un rango típico de 0 – a 3.5%.¹ Se advierte que hay una relación negativa entre grados API y concentraciones de sulfuro, por lo que crudos más ligeros tienden a tener menos sulfuro. Tomando en cuenta el contenido de sulfuro es posible dividir los crudos en dos categorías:
 - **Crudo dulce:** Hace referencia a mezclas con muy bajo contenido de sulfuro, teniendo usualmente menos de 0.5% de sulfuro en el peso total de la mezcla. Por consiguiente, los crudos dulces son más sencillos de manejar y procesar para crear combustibles. Se le conoce como dulce porque las mezclas carecen del olor amargo proveniente de concentraciones mayores de sulfuro.
 - **Crudo amargo:** Hace referencia a mezclas con concentraciones mayores a 0.5% de sulfuro con olores más fuertes. Por ende, los crudos amargos son más tóxicos y corrosivos, lo que requiere procesos más onerosos de procesamiento para extraer el sulfuro antes de transportar el recurso por barcos o gasoductos para evitar su desgaste. Los crudos amargos también son más peligrosos para los trabajadores y pueden potencialmente dañar sus pulmones si no se tienen cuidados pertinentes.

¹ Bradford, Travis. *The Energy System*, United States, MIT Press, 2018, p. 674.

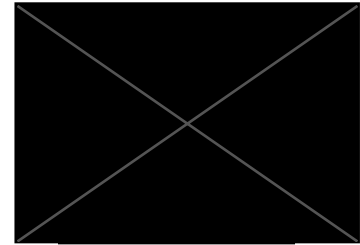
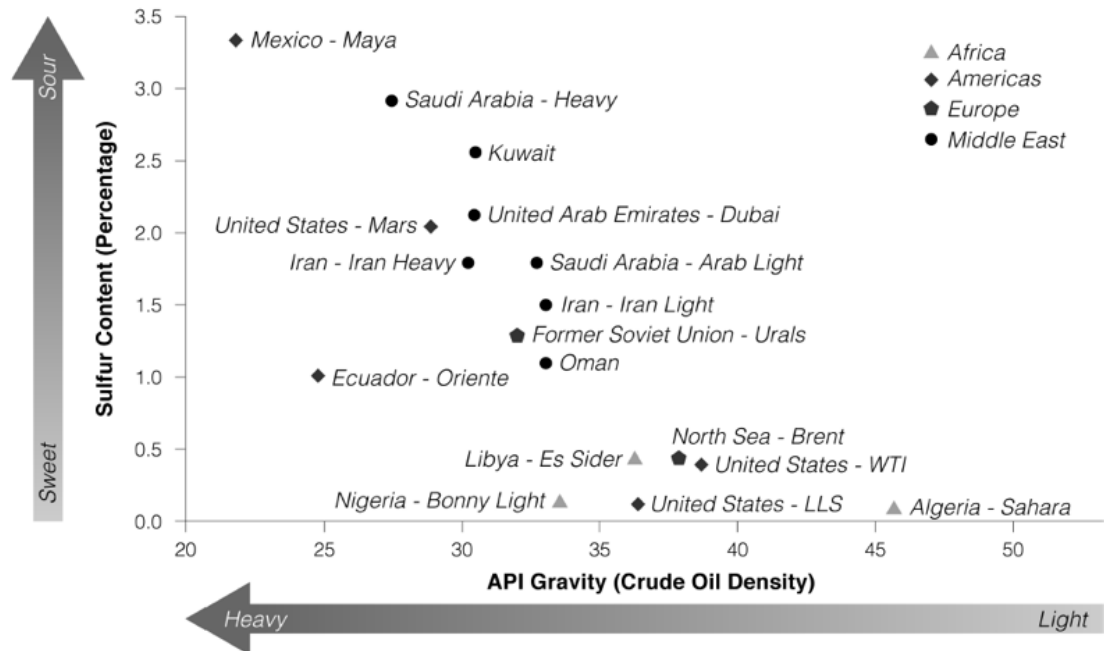


Imagen 2. Clasificación de tipos de petróleo en el mundo por grados API y sulfuro.



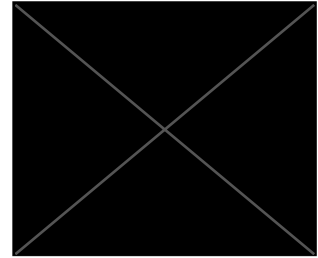
Fuente: Bradford, Travis. *The Energy System*, United States, MIT Press, 2018, p. 674.

Reservas petroleras

Calcular la cantidad de reservas de hidrocarburos resulta fundamental para analizar el desempeño de la industria de petróleo y gas. En este sentido, entender el volumen agregados de hidrocarburos en un reservorio o campo es fundamental para proyectar la producción máxima que se puede obtener de regiones específicas.

En la industria petrolera, se determina como “recursos” a todos los hidrocarburos en un solo lugar. Sin embargo, no toda la totalidad de recursos en los campos petroleros se pueden extraer al no ser técnica o económicamente factibles. En este sentido, se entiende como reservas como la cantidad de hidrocarburos comercialmente recuperables bajo condiciones específicas:

- **Descubiertas.** Las reservas hacen referencia a hidrocarburos comprobados en el subsuelo mediante métodos geológicos y sísmicos que permiten estimar el total de hidrocarburos en el lugar.
- **Recuperables con la tecnología disponible.** Los hidrocarburos deben poder extraerse con los métodos disponibles.

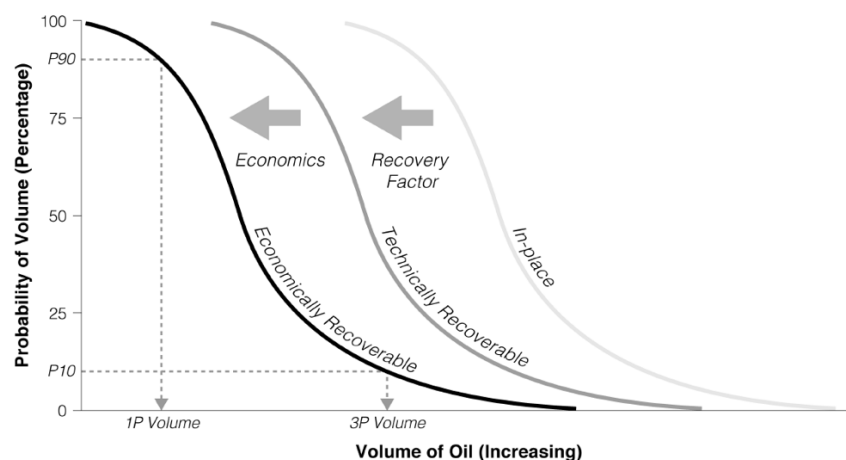


- **Viables comercialmente hablando.** Es posible desarrollar los hidrocarburos mediante inversiones factibles.
- **Ubicadas en el subsuelo.** Los hidrocarburos deben no haber sido desarrollados previamente.

En consecuencia, las reservas se dividen en tres tipos dependiendo del grado de certeza respecto al cual se pueden desarrollar²:

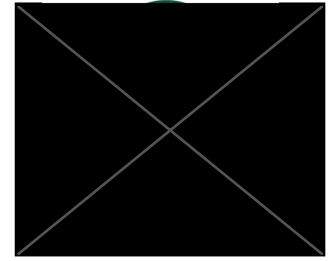
- **Reservas probadas (1P).** Estas reservas incluyen el volumen de hidrocarburos que es razonable que puedan ser desarrolladas con certeza, incluyendo las que están siendo desarrolladas en la actualidad. En específico, las reservas 1P incluyen campos que pueden desarrollarse de forma exitosa en el 90% de los casos. Se les conoce en la industria como P90.
- **Reservas probables (2P).** Este volumen incluye los campos que se estima se pueden desarrollar de forma exitosa en 50% de los casos. Las reservas probables incluyen la totalidad de reservas probables más las reservas probadas. Se les refiere como P50.
- **Reservas posibles (3P).** Estas reservas representan todas las reservas 2P (probadas y probables) más el volumen de reservas que se estima se pueden desarrollar de forma exitosa con 10%. Se les refiere como P10.

Imagen 3. Clasificación de reservas por volumen y probabilidad de éxito en la producción.



Fuente: Bradford, Travis. *The Energy System*, United States, MIT Press, 2018, p. 674.

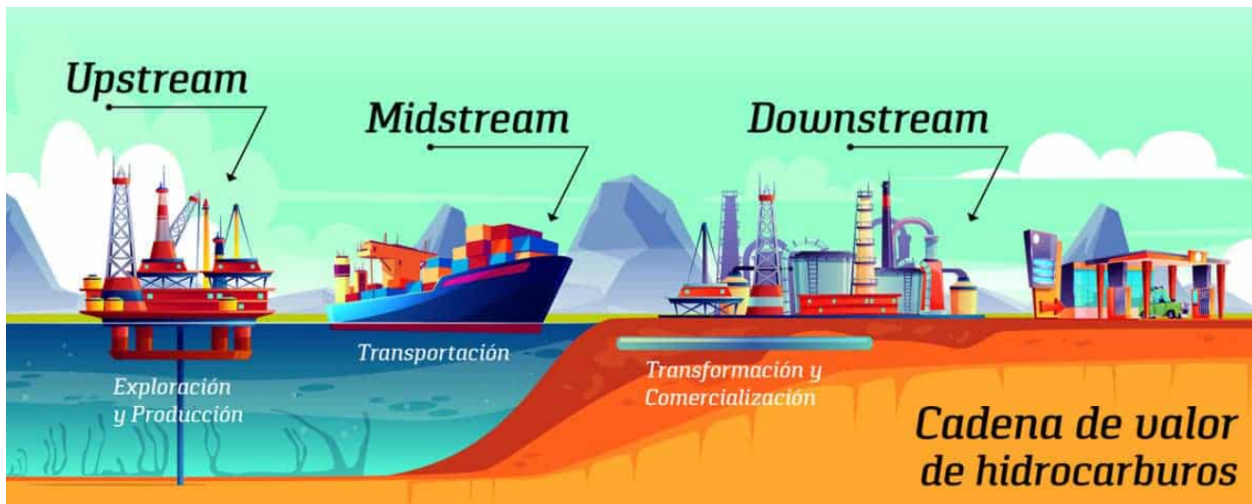
² Art. Cit., pp. 712-714.



Nociones básicas sobre la industria petrolera

El sector de petróleo y gas se divide en tres grandes subsectores que abarcan diferentes actividades a lo largo de la cadena de valor de la industria petrolera: exploración y producción de hidrocarburos, conocido como upstream; transporte de hidrocarburos del pozo al punto de refinación o procesamiento, conocido como midstream; y la refinación o procesamiento, distribución y venta de productos derivados de hidrocarburos, conocido como downstream (ver imagen 4). Se advierte que este reporte se centra en las actividades upstream.

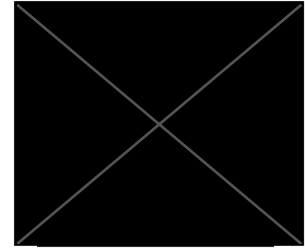
Imagen 4. Cadena de valor de los hidrocarburos



Fuente: Consultado el 05 de junio en <https://www.eldictamen.mx/noticias-de-veracruz/boca-ver/nuvoil-y-su-papel-dentro-de-la-cadena-de-valor-de-los-hidrocarburos/>

El upstream comprende actividades de exploración y producción (E&P), las cuales tienen como objetivo encontrar y extraer hidrocarburos. Los proyectos de upstream son los proyectos más lucrativos en la industria petrolera. En este sentido, el retorno de inversión de los proyectos en el upstream se valúa en dólares, teniendo un marcado contraste con sus contrapartes en el downstream, donde los márgenes de retorno se encuentran en la magnitud de centavos de dólar.

Sin embargo, los proyectos de E&P son también los más riesgosos en la industria. En México, por ejemplo, se estima que únicamente 1 de 5 pozos que se perforan tiene éxito al encontrar petróleo.



De forma simplificada, los proyectos upstream se dividen en cinco grandes fases que agrupan las actividades de exploración y producción de hidrocarburos³:

- **Exploración.** El objetivo de esta fase identificar campos de hidrocarburos que pueden explotarse de forma viable mediante el análisis de información geológica y sísmica de zonas específicas. Los proyectos concluyen si no se encuentran campos potencialmente viables en la zona. En caso tener éxito, las empresas desarrollan planes de trabajo para su evaluación y posterior desarrollo. El tiempo estimado del periodo de exploración es de 2 a 3 años para proyectos en aguas someras, pero se puede extender hasta 7 años en caso de proyectos de aguas profundas (ver siguiente sección).
- **Evaluación.** El objetivo de esta fase es analizar a detalle los campos potencialmente viables en la zona, lo cual incluye el desarrollo de campos exploratorios orientados a descubrir y mapear las reservas de hidrocarburos en la zona. Como resultado, los inversionistas desarrollan infraestructura mínima en la zona. Las actividades concluyen si el análisis señala que los campos no son comercialmente viables. El tiempo estimado para esta fase es de 1 a 4 años.
- **Desarrollo y producción.** Esta fase tiene como objetivo la extracción de hidrocarburos mediante la explotación de las reservas identificadas, lo que conlleva al incremento de infraestructura y el desarrollo de pozos de producción. Esta fase es la más rentable por el incremento en la producción, la cual asciende y eventualmente disminuye en un periodo de hasta 35 años.
- **Desmantelamiento.** Consiste en la última etapa de los proyectos de E&P y ocurre cuando ya no es costo-eficiencia extraer los recursos remanentes en el campo. En esta fase los inversionistas son típicamente responsables de remover la infraestructura y tratar de regresar la zona a sus condiciones originales previas al proyecto.

³ Darko, Emily. *Short guide summarizing the oil and gas industry lifecycle for a non-technical audience*. United Kingdom, Overseas Development Institute, 2014, pp. 1-2.

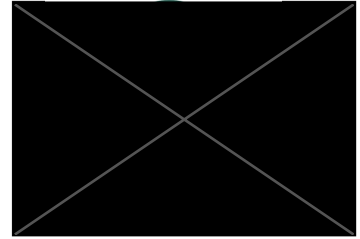
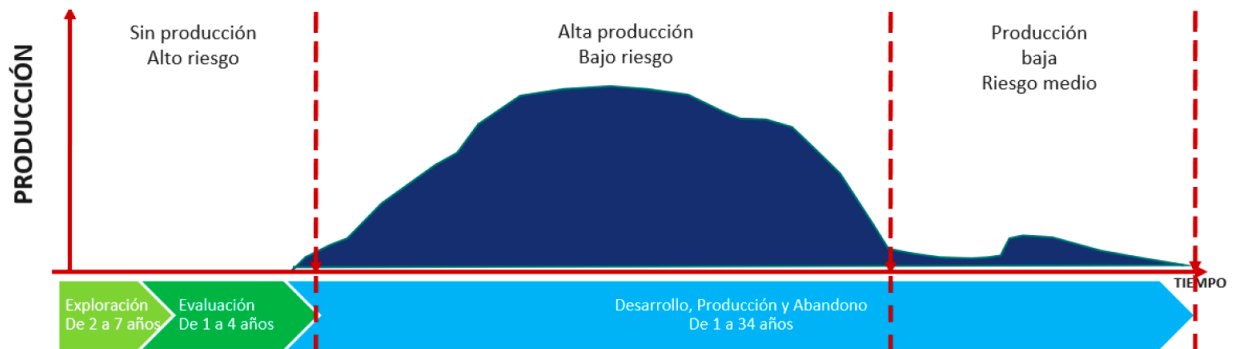


Imagen 5. Ciclo de vida de proyectos upstream



Fuente: AMEXHI, *Vamos Bien. Resultados y perspectivas de los contratos petroleros*, CDMX, AMEXHI, 2019, p. 7.

Conceptos básicos de los proyectos offshore: tipos de proyectos e infraestructura

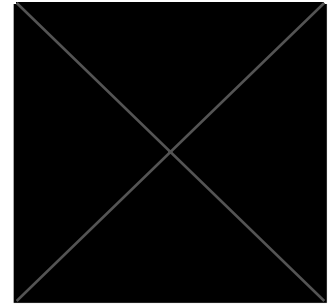
Por otro lado, los proyectos de E&P en el upstream se pueden dividir en dos tipos dependiendo de su ubicación: terrestres, denominados onshore en la jerga del sector; y costas afuera, conocidos como offshore. Asimismo, los proyectos offshore se dividen en tres tipos dependiendo de la profundidad a la que se encuentra el suelo marino a perforar respecto al nivel del mar⁴:

- **Aguas someras.** Son proyectos costa afuera que buscan perforar el lecho marino en la placa continental a menos de 1,000 pies (300 metros) de agua.
- **Aguas profundas.** Son proyectos marinos para desarrollar en el talud continental a una profundidad de entre 1,000 y 2,500 pies (entre 300 metros y 760 metros).
- **Aguas ultra profundas.** Son proyectos a una profundidad entre 2,500 pies y 12,000 pies (760 metros y 3.6 kilómetros) de profundidad.

Las zonas más profundas a 12,000 pies de profundidad se denominan la zona abismal, la cual puede tener una profundidad de hasta 30,000 pies (9 kilómetros). A esta profundidad es muy poco probable encontrar reservas de hidrocarburos debido a que los depósitos orgánicos son dispersados por las corrientes marinas antes de llegar al fondo de océano, inhibiendo con ello la formación de depósitos de hidrocarburos comerciales.⁵

⁴ Downey, Morgan. *Oil 101*, Ciudad de Nueva York, Wooden Table Press, 2013, pp. 115 – 116.

⁵ *Art. Cit.* p. 116.



La infraestructura que se utiliza en proyectos offshore varía dependiendo de la profundidad a la que se encuentra el yacimiento de hidrocarburos – entre otras variables, como son la composición del subsuelo, la presión y temperatura del pozo. No obstante, la infraestructura más relevante en estos proyectos es la plataforma de producción y los equipos de perforación, los cuales pueden operar desde la misma estructura.

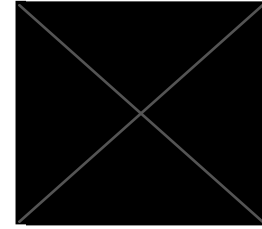
Todas las plataformas de producción experimentan cierto movimiento como resultado del viento y olas, por ende, los proyectos contemplan la cimentación de una plantilla de perforación submarina en el fondo marino, el cual tiene un agujero que sirve como guía para el equipo de perforación y está conectado a la plataforma mediante cables. Como resultado, los equipos de perforación pueden llevar a cabo perforación exacta pese al movimiento de la plataforma en la superficie del mar.

Es importante notar que las plataformas de producción pueden ser flotantes dependiendo de la profundidad en la que opera el proyecto. En estos casos, la plataforma flotante se fija al fondo marino con cables de amarre y anclajes de gran tamaño, los cuales se instalan en la zona determinada antes de que la plataforma marina sea remolcada al lugar de operación.

A continuación, se describen brevemente los principales tipos de plataformas que se utilizan en proyectos offshore (ver imagen 6)⁶:

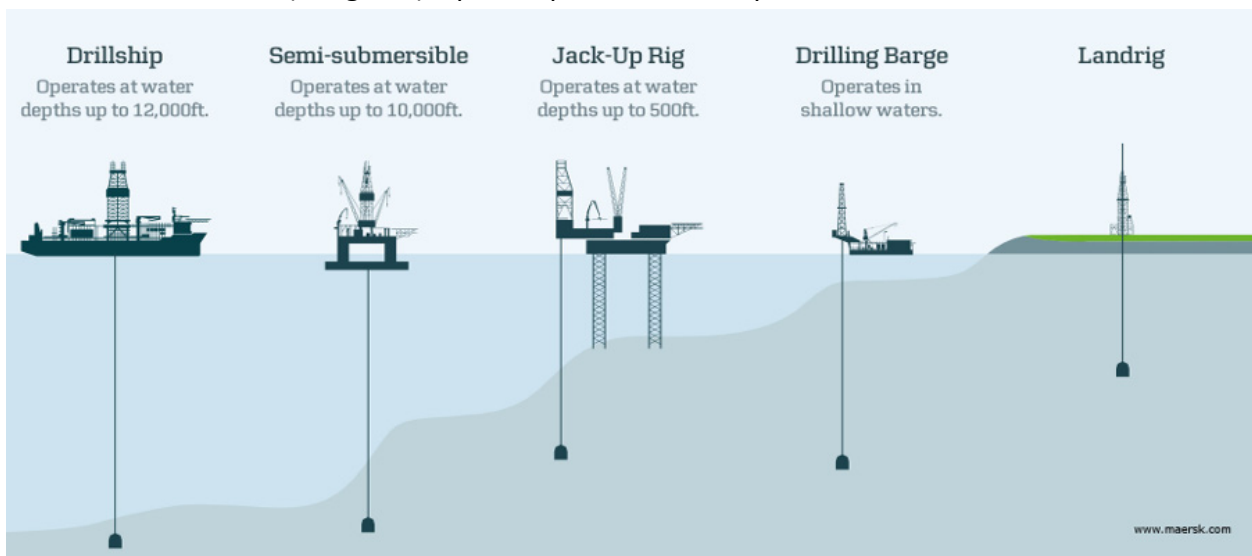
- **Plataformas sumergibles.** Se trata de plataformas móviles que suelen operar en proyectos de aguas someras en proyectos con menos de 80 pies de profundidad. Estas plataformas son remolcadas a la zona designada para el proyecto y descansan sobre la superficie del mar. Un subtipo de plataformas sumergibles muy utilizado en la industria son las barcasas de perforación (*drilling barge* en inglés) en vías navegables.
- **Plataformas jackups.** Estas plataformas son móviles y se emplean para profundidades de hasta 500 pies. Los jackups suelen tener tres piernas que se fijan al suelo marino, lo que permite a la plataforma elevarse por encima del nivel del mar lo necesario para operar.

⁶ Art. Cit., pp. 117-123.



- **Plataformas semi-sumergibles.** Plataformas utilizadas para proyectos de aguas profundas y ultra profundas, las plataformas flotan y son fijadas al suelo marino por cables reforzados. La industria utiliza diferentes tipos de semi-sumergibles dependiendo de la profundidad de los proyectos hasta llegar a los 1000 pies de profundidad. Un tipo especial de semi-sumergibles son los Sistemas de Producción Flotantes (FPS, en inglés), los cuales pueden utilizarse para profundidades incluso mayores a 1000 pies y son similares a barcos.
- **Barcos de perforación.** Se trata de plataformas móviles que cuentan con sus propios sistemas de propulsión, por lo que no requieren ser arrastrados por barcasas o barcos. Los barcos se mantienen en posición idónea para la perforación gracias a sistemas de GPS. Se utilizan para proyectos de hasta 12,000 pies de profundidad.

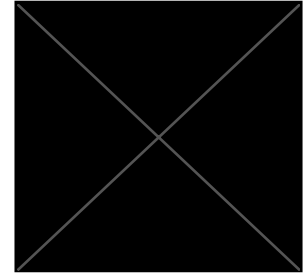
(Imagen 6) Tipos de plataformas de perforación



Fuente: Consultado el 06 de junio en <https://www.maersk.com/logistics-solutions>

Los proyectos de E&P offshore suelen ser desarrollados por dos tipos de actores:

- **Compañías petroleras.** Estas compañías, privadas y públicas, buscan explotar los campos de hidrocarburos a cambio de un porcentaje de participación del ingreso que se obtiene de la comercialización de los hidrocarburos. Las empresas petroleras tienen diferentes contratos con los estados para poder desarrollar estos recursos (ver entregable 1); sin embargo, una característica en común es que su valuación económica en el mercado depende de su acceso a las reservas de hidrocarburos, las cuales registran como activos en sus balances financieros.



- **Compañías de servicios de exploración y producción.** Estas empresas se orientan a brindar servicios de perforación para empresas petroleras, cobrando por ello tarifas establecidas en contratos. Los servicios incluyen provisión de infraestructura, logística y hasta operación de los campos.

En este contexto, es relevante para fines de esta investigación que una práctica común en la industria es la comisión de proyectos integrados (*turn-key projects*, en inglés), los cuales son contratos dónde las empresas petroleras contratan a un proveedor para encargarse del desarrollo y operación de los campos.

Esta práctica, que es común en Pemex y empresas privadas en el país, permite a las empresas desarrollar sus campos sin tener que hacer importantes inversiones en la infraestructura necesaria, especialmente las plataformas. En este sentido, se advierte que pocas empresas petroleras con operaciones en el país son dueñas de las plataformas e infraestructura empleada en los proyectos, sino que celebran contratos de servicios con proveedores. La titularidad de la infraestructura tiene implicaciones para cualquier iniciativa que busque regular su operación.