

Universidad Panamericana
Escuela de Gobierno y Economía. Maestría

“Lineamientos para Elaborar un Estudio de Línea Base para Mapas de Ruta
Tecnológica: Caso de la Exploración y Extracción de Yacimientos No
Convencionales de Gas de Lutitas en México”

Autor: Francisco Javier Pacheco Román

Maestro en Economía y Regulación Energéticas

Director: Víctor Gerardo Ortiz Gallardo

Ciudad de México, 01 de junio de 2021

Resumen

La exploración y extracción de hidrocarburos de yacimientos no convencionales requieren la definición de una estrategia para su aprovechamiento sustentable. Los mapas de ruta tecnológica (MRT), o simplemente mapas de ruta, son una herramienta de planeación útil para identificar de manera sistemática los retos y barreras que deben ser considerados en la definición de una estrategia para alcanzar una perspectiva y metas deseadas.

Aunque existen diversos métodos para realizar mapas de ruta, varios autores reconocen que los MRT basados en talleres colaborativos son los más efectivos y completos. Mediante estos talleres para la elaboración de mapas de ruta se promueve la opinión de diversos expertos y partes interesadas respecto a los retos y barreras para implementar la perspectiva y metas del tema central del MRT.

Los MRT basados en talleres colaborativos, a diferencia de otros métodos, requieren la preparación de materiales de soporte para guiar las discusiones, tanto para uso de los integrantes del equipo facilitador, como para los participantes. El propósito de la tesis que se desarrolla en el presente documento se circunscribe en este ámbito.

Si bien existe un gran número de publicaciones académicas relacionadas con el desarrollo de MRT, la literatura sobre la preparación y características del material de soporte para orientar las discusiones en los talleres es escasa. Por ello, la presente tesis propone los elementos que deben considerarse para diseñar una guía para la elaboración del material de soporte (comúnmente denominados estudios de línea base) para un MRT sectorial. La pertinencia de los elementos propuestos se exploró a través de su aplicación a un caso hipotético de la preparación de un taller para la elaboración de un MRT para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Los resultados obtenidos señalan la pertinencia de incluir elementos de información que comprendan diagnósticos de los ámbitos político, mercado, tecnología y cadena de valor. Dichos diagnósticos son necesarios para sustentar la factibilidad de alcanzar una determinada perspectiva y metas en el mediano y largo plazo; así como para dimensionar e identificar los retos y barreras que deberán ser atendidos.

La identificación de los elementos a considerar en los estudios de línea base se realizó a través de una investigación archivística, y su pertinencia se exploró a través de una serie de entrevistas con especialistas en la realización de MRT y expertos en el sector de hidrocarburos. Como parte de las actividades de investigación se analizaron MRT de dominio público en el sector energía para

identificar el contenido y fuentes para la elaboración de estudios de línea base. También se realizaron entrevistas a personas con experiencia en el diseño y conducción de talleres para la generación de mapas de ruta en el sector energía.

Las entrevistas permitieron evaluar la integridad de los elementos identificados para elaborar estudios de línea base, así como determinar la importancia y presentación más efectiva de este material de soporte.

Finalmente, los elementos identificados se utilizaron para elaborar el estudio de línea base para el caso hipotético de un taller de MRT sobre la exploración y explotación de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

El estudio de línea base del caso hipotético se generó a través de una investigación documental conforme a los elementos previamente identificados. La pertinencia y relevancia del material resultante se evaluó mediante entrevistas a especialistas en mapas de ruta y a expertos en el sector hidrocarburos. Por una parte, los especialistas en mapas de ruta señalaron que el estudio de línea base es un punto de partida necesario para la elaboración del MRT. En su opinión, se trata de un documento soporte de carácter informativo que, más allá de ser un documento de referencia para los participantes, es un material necesario para el equipo facilitador.

Si bien el alcance de la presente tesis no incluye la elaboración del MRT, los resultados obtenidos, permiten establecer las bases para generar una guía para desarrollar estudios de línea base para talleres colaborativos de MRT del sector energía.

Reconocimientos

Ante todo, agradezco a Dios las bendiciones y oportunidad de vivir esta vida. Gracias por darme la sabiduría, salud y fortaleza para luchar y alcanzar mis metas.

Me gustaría expresar mi sincera gratitud a mi director de tesis el Dr. Víctor G. Ortiz Gallardo por su apoyo entusiasta e impulso constante a lo largo de este proyecto de investigación. Gracias por sus consejos y valiosas enseñanzas. Es un honor haber sido su estudiante de posgrado.

Estoy agradecido por la formación académica invaluable conferida por mis *Almae Matres*. La Universidad Nacional Autónoma de México en los grados de ingeniería química y licenciatura en economía. La Universidad de Calgary en mi primera maestría en ciencias en ingeniería química con especialización en ingeniería petrolera. Ahora la Universidad Panamericana en mi segunda maestría en economía y regulación energéticas. Expreso mi gratitud al Fondo CONACY-Secretaría de Energía-Hidrocarburos por otorgarme la beca de la presente maestría.

Adicionalmente, agradezco a mis compañeros de clases: Aidé Cornejo, Alejandro Ríos, Blanca Gómez, Diego Román, Guadalupe Ramírez, José Luis Palomares, Lucero Hernández, Patricia Alfaro y Roberto Pablo por los grandes momentos que compartimos durante nuestros estudios.

Asimismo, agradezco a los profesores del programa por compartir sus enseñanzas y amplia experiencia del sector energético: Dr. José Carlos Ramírez, Dr. Salvador Cruz, Mtro. Gildardo López, Dr. Juan Rosellón, Dr. Ricardo Massa, Dr. Ricardo Morales, Mtro. Carlos Villanueva, Mtra. Tania Rabasa, Dra. Isabel Niembro, Mtro. Irén Castillo, Dr. Jaime Castelán, Dr. Héctor de la Torre y el Dr. Francisco Ortiz.

También estoy agradecido con mis amigos de la licenciatura y maestría previas. En especial Alondra Rentería, Shunashi García, Diego Cáceres, Óscar Bermúdez, Mustafa Iqbal, María Teresa Olivares y Guillermo Flores por su amistad incondicional. Asimismo, expreso mi sincera y profunda gratitud a Ricardo G. Suarez.

En mi formación profesional reconozco el apoyo de la Dra. Rina en la UNAM, Dr. Hossein Hejazi en la Universidad de Calgary; la Dra. Zoloxóchitl, la Mtra. Georgina, el Dr. Víctor, el Ing. Hermenegildo del IMP y los colegas de la Coordinación de Asesores de la Subsecretaría de Hidrocarburos de la SENER. Especialmente a la Dra. Myriam Cisneros por su invitación para colaborar en el sector financiero en BANOBRAS y SHF.

En el desarrollo de la investigación se agradece la participación en las entrevistas a María Georgina Ortiz Gallardo; Carlos Miguel Vega Reyes; Bruno López Jiménez; Eduardo Javier Meneses Scherrer; Dwight Dyer; Zoloxóchitl del Consuelo Aquino Campos; Agustín González Ortiz y Carlos López-Gómez. Agradezco sus valiosas respuestas, comentarios y sugerencias en el ámbito de su competencia.

Finalmente, este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo absoluto, amor, enseñanzas y comprensión de mi querida familia. Particularmente, mi madre Leticia y mi padre Francisco, quienes han sacrificado tanto al ser padres ejemplares, al igual que mis hermanos Erika, Verónica, Diego y Flavio. Mis sobrinitos Erick Vladimir, Erika Gianella y José Francisco. Los amo a todos.

La presente tesis representa más que dos años de trabajo diligente durante un periodo complejo marcado por diversos y drásticos cambios ocasionados por la pandemia de COVID-19. El proyecto es resultado de todas las experiencias que he vivido y la gente que he conocido a lo largo de mi vida porque ellos han de alguna manera influido en los caminos que he tomado y la persona en que me he convertido. Calderón de La Barca escribió alguna vez, “La vida es un sueño”, lo creo y estoy agradecido de soñar esta vida.

Francisco Javier Pacheco Román
Verano de 2021

Una vez más a todos los miembros de mis familias amadas: la biológica y la elegida

Índice

Resumen.....	iii
Reconocimientos.....	v
Dedicación.....	vii
Índice.....	ix
Lista de tablas	xiii
Lista de figuras.....	xix
Lista de abreviaturas y nomenclatura.....	xxii
Epígrafe.....	xxiii
Capítulo Uno: Introducción.....	1
1.1 Definición de mapa de ruta tecnológica.....	1
1.2 Clasificación de los mapas de ruta tecnológica	1
1.3 Definición de mapeo de ruta tecnológico.....	2
1.4 Desarrollo histórico del mapeo de ruta tecnológico	3
1.5 Propósitos del mapeo de ruta tecnológico.....	4
1.6 Proceso de mapeo de ruta tecnológico	6
1.6.1 Clasificación de procesos de mapeo de ruta tecnológico.....	6
1.6.2 Procesos relevantes basados en talleres colaborativos.....	8
1.6.3 Etapas del mapeo de ruta tecnológico: Universidad de Cambridge ...	9
1.6.4 Etapas del mapeo de ruta tecnológico: Agencia Internacional de Energía 11	
1.7 Experiencia internacional del mapeo de ruta en el sector de energía	13
1.8 Experiencia nacional del mapeo de ruta en el sector de energía	15
1.9 Conclusión.....	16
Capítulo Dos: Problemáticas a resolver e impactos potenciales	17
2.1 Ausencia de documento guía en talleres de MRT	17
2.2 Falta de estrategia en yacimientos no convencionales.....	18
2.3 Desarrollar lineamientos para elaborar el estudio de línea base	20
2.4 Señalar la importancia nacional de realizar talleres de MRT.....	21
2.5 Estructura de la tesis	21
Capítulo Tres: Metodología de investigación.....	23
3.1 Revisión de la literatura sobre el estudio de línea base.....	23
3.2 Identificación y evaluación del contenido, fuentes y presentación del estudio de línea base	24
3.2.1 Aplicación y evaluación de los lineamientos para generar un estudio de línea base a un caso particular	26

Capítulo Cuatro: Lineamientos para la elaboración de estudios de línea base para el sector energía 29

4.1	Referencias	29
4.2	Relevancia.....	30
4.3	Contenido	31
4.4	Fuente	31
4.5	Presentación.....	32
4.6	Distribución.....	33
4.7	Análisis de los diagramas de mapas de ruta tecnológica	33
4.8	Identificación de los componentes básicos.....	35
4.9	Establecimiento del contenido de la línea base de investigación	37
4.10	Reflexiones finales.....	47

Capítulo Cinco: Aplicación a un caso: Estudio de línea base para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México 48

5.1	Introducción	50
5.1.1	Generalidades.....	50
5.2	Fundamentos.....	52
5.2.1	Marco legal y normativo	52
5.2.1.1	Reforma Energética de 2013	52
5.2.1.2	Preceptos constitucionales.....	53
5.2.1.3	Leyes	54
5.2.1.4	Reglamentos	56
5.2.1.5	Códigos, lineamientos, manuales, acuerdos y otras disposiciones 57	
5.2.1.6	Planes y programas de la administración 2019-2024	58
5.3	Referencias nacionales	60
5.3.1.1	Provincias petroleras en México	60
5.3.1.2	Recursos de hidrocarburos en México	61
5.3.1.3	Provincias petroleras con recursos no convencionales.....	62
5.3.1.4	Reservas y volumen remanentes en áreas terrestres no convencionales.....	64
5.3.1.5	Potencial recursos no convencionales en México.....	64
5.3.1.6	Prospección en áreas terrestres no convencionales.....	65
5.3.1.7	Producción de hidrocarburos en áreas terrestres no convencionales.....	66

5.3.1.8	Pronósticos de producción de recursos no convencionales.....	66
5.3.2	Referencias internacionales	67
5.3.2.1	Provincias petroleras y potencial de recursos	67
5.3.2.2	Producción de gas natural de lutitas	68
5.3.2.3	Producción de gas natural.....	70
5.4	Conclusión: perspectivas, metas e impulsores	71
5.4.1	Perspectivas.....	71
5.4.2	Meta	72
5.4.3	Impulsores.....	72
5.5	Diagnóstico de la situación actual.....	73
5.5.1	Diagnóstico político	73
5.5.1.1	Política nacional	73
5.5.1.1.1	<i>Plan Quinquenal 2020-2024</i>	73
5.5.1.1.2	<i>Plan Quinquenal 2020-2024: recursos no convencionales</i>	74
5.5.1.1.3	<i>Conclusión: política interna</i>	77
5.5.1.2	Política internacional	77
5.5.1.2.1	<i>Transición energética</i>	78
5.5.1.2.2	<i>Acuerdo de París</i>	78
5.5.1.2.3	<i>Países con moratorias y prohibiciones de fractura hidráulica</i> .	79
5.5.1.2.4	<i>Conclusión: política externa</i>	82
5.5.2	Diagnóstico del mercado.....	82
5.5.2.1	Mercado de gas natural	82
5.5.2.2	Oferta y demanda de gas natural en México.....	84
5.5.2.3	Precios del gas natural en México	86
5.5.2.4	Precios del gas natural: referencias internacionales	90
5.5.3	Diagnóstico de la tecnología	91
5.5.3.1	Tecnologías de exploración	93
5.5.3.2	Tecnologías de perforación.....	94
5.5.3.3	Tecnologías de estimulación.....	95
5.5.3.4	Aspectos tecnológicos de la producción de gas de lutitas	96
5.5.3.4.1	<i>Construcción del pozo</i>	97
5.5.3.4.2	<i>Fractura hidráulica: profundidad</i>	98
5.5.3.4.3	<i>Compuestos químicos</i>	99
5.5.3.4.4	<i>Reciclaje de agua, reuso y disposición</i>	101

5.5.3.5	Tecnologías de exploración y extracción: costos	101
5.5.3.6	Alternativas tecnológicas: uso de agua	103
5.5.4	Diagnóstico de la cadena de valor	104
5.5.4.1	Exploración	104
5.5.4.1.1	<i>Participantes y actividades</i>	105
5.5.4.2	Extracción	111
5.5.4.2.1	<i>Participantes y actividades</i>	111
5.5.4.3	Procesamiento	118
5.5.4.3.1	<i>Participantes y actividades</i>	119
5.5.4.4	Logística.....	120
5.5.4.4.1	<i>Participantes y actividades</i>	121
5.5.4.5	Comercialización.....	126
5.5.4.5.1	<i>Participantes y actividades</i>	126
5.6	Conclusión: retos y barreras.....	127
5.6.1	Estándares y mejores prácticas para el desarrollo de gas y aceite de lutitas	133
5.6.2	Propuestas para el desarrollo de la industria nacional.....	134
Capítulo Seis: Análisis de los resultados.....		137
6.1	Evaluación de la implementación de los lineamientos al caso de estudio 137	
6.1.1	Contenido.....	140
6.1.2	Presentación	140
6.1.3	Relevancia	142
6.1.4	Comentarios.....	142
Capítulo Siete: Conclusiones		145
A.	Anexo A.....	149
B.	Anexo B.....	150
A.	Anexo C	152
A.	Anexo D	155
A.	Anexo E.....	162
Referencias		169

Lista de tablas

Tabla 1.1. Modelos de procesos para el mapeo de ruta tecnológica. Fuente: Elaboración propia con información de Moehrle, Isenmann, & Phaal (2013).....	7
Tabla 1.2 Preguntas clave para diseñar arquitectura del mapa de ruta. Fuente: Phaal, Farrukh, & Probert (2013).	9
Tabla 1.3 Factores clave que afectan un mapa de ruta. Fuente: IEA (2014).	11
Tabla 1.4 Principales temas para análisis de la situación actual. Fuente: IEA (2014).	13
Tabla 3.1 Personas entrevistadas para evaluar la propuesta de estudio de línea base para talleres de mapas de ruta tecnológica del sector energía. Fuente: Elaboración propia.	25
Tabla 3.2 Instrumento de evaluación para evaluar la propuesta de estudio de línea base. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 3.3. Resumen de la metodología. Fuente: Elaboración propia.....	28
Tabla 4.1 Componentes de los diagramas de mapas de ruta tecnológica de energías renovables publicados por la SENER. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018b).....	34
Tabla 5.1 Diferencias en el uso de la fractura hidráulica en yacimientos convencionales y no convencionales. Fuente: elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2017).	52
Tabla 5.2. Reforma Energética: cambios legislativos. Fuente: elaboración propia con información de SER (2016).	52
Tabla 5.3 Preceptos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) en materia de exploración y extracción de hidrocarburos. Fuente: elaboración propia con información de DOF (1917).....	53
Tabla 5.4 Leyes en materia de exploración y extracción de hidrocarburos en México. Fuente: elaboración propia.....	54
Tabla 5.5. Leyes relacionadas con el sector hidrocarburos en México. Fuente: elaboración propia.....	55
Tabla 5.6. Reglamentos de leyes en materia de exploración y extracción de hidrocarburos en México. Fuente: elaboración propia.....	56
Tabla 5.7 Regulación en materia de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales. Fuente: Elaboración propia.	57

Tabla 5.8 Secciones relacionadas con la exploración y extracción de hidrocarburos en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Fuente: Elaboración propia con información de (DOF, 2019b).	58
Tabla 5.9 Secciones relacionadas con la exploración y extracción de hidrocarburos en el Programa Sectorial de Energía 2020-2024. Fuente: Elaboración propia con información de (DOF, 2020).	58
Tabla 5.10. Recursos de hidrocarburos por provincia petrolera. Fuente: SENER (2020b).	61
Tabla 5.11. Provincias petroleras con recursos no convencionales (MMbpce). Fuente: elaboración propia con información de SENER (2020b).	63
Tabla 5.12. Pozos exploratorios perforados en áreas terrestres no convencionales de Burgos, 2010-2013. Fuente: Pemex (2014).	65
Tabla 5.13 Datos relevantes de los países con producción comercial de gas de lutitas. Elaboración propia con información de API (2017); Rivard y otros (2014); Zou y otros (2016) y Villalba (2018).	69
Tabla 5.14. Producción anual de gas natural por país en 2019. Fuente: BP (2020)	70
Tabla 5.15 Diferencias en el uso de la fractura hidráulica en yacimientos convencionales y no convencionales. Fuente: elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2017).	75
Tabla 5.16. Línea de tiempo con la política del aprovechamiento de áreas terrestres no convencionales en México. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2014), CNH (2018e) y CNH (2018d).	76
Tabla 5.17. Países con prohibiciones y moratorias de fractura hidráulica. Fuente: Elaboración propia con información de AIDA (2019).	79
Tabla 5.18. Estados y provincias del mundo con prohibiciones y moratorias de fractura hidráulica. Fuente: Elaboración propia con información de Maryland (2017); The Hill (2017); NYT (2014); Department of Health (2014); Montreal Gazette (2014) y FNQLSDI (2014).	81
Tabla 5.19. Características del mercado mundial de gas natural. Fuente: Melton, Hudson, & Ladislav (2015).	83
Tabla 5.20. Indicadores mundiales del gas natural en 2019. Fuente: BloombergNEF / International Gas Union / Snam (2020).	83
Tabla 5.21. Cambios porcentuales en los mercados de gas natural en 2019 (interanual). Fuente: BloombergNEF / International Gas Union / Snam (2020).	84

Tabla 5.22. Zonas de transporte y puntos de inyección en el esquema de Ventas de Primera Mano. Fuente: PEMEX (2020).	88
Tabla 5.23. Etapas de exploración de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).	92
Tabla 5.24. Etapas de producción de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).	92
Tabla 5.25. Tecnologías de exploración de yacimientos de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).	94
Tabla 5.26. Tecnologías de perforación de yacimientos de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).	94
Tabla 5.27. Tecnologías de estimulación de yacimientos de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).	95
Tabla 5.28. Costos asociados con tecnologías de exploración de yacimientos de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).	101
Tabla 5.29. Costos estimados de proyectos de gas de lutitas. Fuente: Zendehboudi & Bahadori (2018).	102
Tabla 5.30. Alternativas tecnológicas en el uso de agua. Fuente: Elaboración propia con información de Tuft (2015).	103
Tabla 5.31. Pemex. Asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).	105
Tabla 5.32. Pemex Exploración y Producción. Asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).	105
Tabla 5.33. Pemex. Histórico de actividades en asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).	106
Tabla 5.34. Pemex. Histórico de inversión de las actividades en asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).	106
Tabla 5.35. Pemex. Asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).	106
Tabla 5.36. Pemex. Asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).	107
Tabla 5.37. Pemex. Histórico de actividades de planes de exploración hechas en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).	107

Tabla 5.38. Pemex. Histórico de inversión real de planes de exploración en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2018a).....	108
Tabla 5.39. Pemex. Contratos de asociaciones estratégicas (<i>farm-outs</i>). Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).....	108
Tabla 5.40. Pemex. Contratos de migraciones de CIEP, COPF o Asignación. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).....	109
Tabla 5.41. Pemex. Contratos de rondas de licitación individuales. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).....	109
Tabla 5.42. Pemex. Contratos de rondas de licitación en asociaciones. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).....	109
Tabla 5.43. Áreas contractuales con gas como hidrocarburo esperado. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).....	110
Tabla 5.44. Áreas contractuales con gas como hidrocarburo esperado. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).....	111
Tabla 5.45. Pemex. Asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	112
Tabla 5.46. Pemex. Asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	112
Tabla 5.47. Pemex. Histórico de actividades de planes de exploración hechas en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	114
Tabla 5.48. Pemex. Histórico de actividades de planes de extracción hechas en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	115
Tabla 5.49. Pemex. Histórico de inversión real de planes de exploración en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	115
Tabla 5.50. Pemex. Histórico de inversión real de planes de extracción en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	115
Tabla 5.51. Pemex. Histórico de actividades de planes de extracción hechas en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	116

Tabla 5.52. Pemex. Histórico de inversión real de planes de extracción en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).....	116
Tabla 5.53. Áreas contractuales con gas como hidrocarburo esperado. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).....	117
Tabla 5.54. Procesos industriales principales del procesamiento de gas. Fuente: Pérez Ruiz (2019).	119
Tabla 5.55. Pemex. Capacidad instalada de los complejos procesadores de gas natural. Fuente: SENER (2018j) y SENER (2020c).....	120
Tabla 5.56. CRE. Principales gasoductos en operación. Fuente: modificado de CNH (2018f).....	123
Tabla 5.57. CRE. Principales gasoductos en construcción. Fuente: modificado de CNH (2018f).	123
Tabla 5.58. CRE. Principales gasoductos en proyecto. Fuente: modificado de CNH (2018f).....	124
Tabla 5.59. Terminal de almacenamiento y regasificación de GNL. Fuente: SENER (2020c).	124
Tabla 5.60. Retos y barreras por etapas. Fuente: Elaboración propia con información de Rivard, y otros (2014).....	127
Tabla 5.61. Retos y barreras por temas. Fuente: Elaboración propia con información de Tuft (2015) y Rezae (2015).	128
Tabla 5.62. Principales preocupaciones ambientales. Fuente: Elaboración propia con información de Anurodh & Devleena (2017).....	130
Tabla 5.63. Tipos de disturbios. Fuente: Elaboración propia con información de Zhiltsov (2017).....	131
Tabla 5.64. Hallazgos en temas relevantes relacionados con el agua subterránea. Fuente: Elaboración propia con información de Tuft (2015).....	132
Tabla 5.65. Organizaciones que desarrollan estándares o mejores prácticas para el desarrollo de shale gas y aceite de lutitas y su regulación. Fuente: Elaboración propia con información de University of Pittsburgh (2013).	133
Tabla 5.66. Resumen de propuestas para propiciar el desarrollo de la industria de gas natural. Fuente: CNH (2018f).	135
Tabla 6.1 Personas entrevistadas para evaluar la propuesta de estudio de línea base con experiencia en talleres para elaboración de mapas de ruta tecnológica. Fuente: Elaboración propia.	137

Tabla 6.2 Personas entrevistadas para evaluar la propuesta de estudio de línea base con experiencia en temas del sector petrolero. Fuente: Elaboración propia.	138
Tabla 6.3 Instrumento de evaluación para evaluar la propuesta de estudio de línea base. Fuente: Elaboración propia.....	139
Tabla B.1. Reportes y diagramas de mapa de ruta tecnológica consultados. Fuente: SENER (2018b).....	150

Lista de figuras

Figura 1.1. Número de publicaciones con el término “mapa de ruta tecnológica” o “mapeo de ruta” en el título, resumen o palabras clave. Fuente: Elaboración propia con información de SCOPUS (2020).....	4
Figura 1.2. Insumos para modelo de sistema energético. Fuente: IEA (2014).....	12
Figura 1.3. Mapas de ruta de dominio público de varios sectores en 2010. Fuente: Amer & Daim (2010).....	14
Figura 4.1 Arquitectura genérica y componentes de los mapas de ruta tecnológica en energías renovables. Fuente: elaboración propia con información de SENER (2018b).....	36
Figura 4.2 Descripción de los componentes del mapa de Ruta Tecnológica. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018b).....	38
Figura 4.3 Descripción y fuentes del contenido de la línea base de investigación para la pregunta ¿a dónde vamos? Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 4.4 Descripción y fuentes del contenido de la línea base de investigación para la pregunta ¿dónde estamos? Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 4.5 Sistema de definición de la audiencia aplicado a la elaboración del documento de línea base de investigación. Fuente: Elaboración propia con información de Sides (1999).....	45
Figura 5.1. Diferencias entre yacimientos convencionales y no convencionales. Fuente: elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2017). ..	51
Figura 5.2. Provincias petroleras de México. Fuente: SENER (2020b).....	61
Figura 5.3. Recursos prospectivos de hidrocarburos no convencionales en México. Fuente: elaboración propia con información de SENER (2020b).....	62
Figura 5.4. Reservas y volumen remanente por ubicación. Fuente: elaboración propia con información de SENER (2020b).	64
Figura 5.5. Recursos de gas de lutitas en el mundo. Fuente: EIA (2013).	64
Figura 5.6 Cuencas del mundo con recursos de lutitas y cuencas de México con recursos de gas de lutitas. Fuente: EIA (2013).	65
Figura 5.7 Producción de petróleo por campo, 1970-2019. Fuente: elaboración propia con información de CNIH (2020b).	66
Figura 5.8. Escenario de producción de México con Reforma Energética. Fuente: IEA (2016).	66
Figura 5.9. Cuencas del mundo evaluadas. Fuente: EIA (2013).....	67

Figura 5.10. Países principales con recursos técnicamente recuperables de gas húmedo de gas de lutitas. Fuente: EIA (2013).	68
Figura 5.11 Producción histórica de gas de lutitas por país. Fuente: Elaboración propia con información de EIA (2019) y Secretaría de Energía de Argentina (2020).	68
Figura 5.12 Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2020-2024: áreas a licitar. Fuente: SENER (2020b).....	74
Figura 5.13 Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2015-2019: áreas a licitar. Fuente: SENER (2017).....	75
Figura 5.14 Participación de la energía primaria en el mundo. Fuente: elaboración propia con información de BP (2019) y IEA (2019).	77
Figura 5.15. Oferta y demanda de gas natural en México, 2007-2019. Fuente: SIE (2020).....	85
Figura 5.16 Importaciones y porcentaje respecto al consumo de gas natural en México, 2007-2019. Fuente: SIE (2020).....	85
Figura 5.17 Participación porcentual en 2019 de las importaciones en países importadores de gas natural Fuente: CNH (s/f).....	86
Figura 5.18. Generación de energía eléctrica según combustible. Fuente: IEA (2019) y (SENER (2019).....	86
Figura 5.19 Precios de combustibles. Fuente: SENER (2020d).....	87
Figura 5.20 Comparativo precios Henry Hub y VMP, diciembre 2018- agosto 2020. Fuente (SENER, 2020d).	87
Figura 5.21 Comparación de VPM Golfo e IPGN. Fuente: SENER (2020d).	88
Figura 5.22 Índices de referencia de precios de gas natural por regiones, diciembre 2018 – octubre 2020. Fuente: Elaboración propia con información de CRE (2020).	89
Figura 5.23 Comparación de precios de referencia en México y EE.UU. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2020d) y EIA (2020b).....	89
Figura 5.24 Referencias de precios de gas natural licuado en el mundo en dólares por millones de BTU, noviembre de 2020. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2020d).	90
Figura 5.25 Producción bruta de gas natural y precio de referencia Henry Hub en Estados Unidos, 2003-2019. Fuente: Elaboración propia con información de EIA (2020c).	90

Figura 5.26. Precios de equilibrio de gas en cabeza de pozo por cuenca. Fuente: Enerdynamics (s/f).	91
Figura 5.27. Consideraciones relacionadas con la fractura hidráulica. Fuente: Modificado de: API (2017).	97
Figura 5.28 Integridad mecánica de un pozo con fractura hidráulica. Fuente: Elaboración propia con información de API (2017).	98
Figura 5.29. Distancia a escala de la fractura hidráulica. Fuente: Elaboración propia con información de CNH (s/f).	99
Figura 5.30 Composición volumétrica del fluido para fractura y detalle de los compuestos químicos de sus aditivos. Fuente: Modificado de API (2017).	100
Figura 5.31 Manejo del agua de la fractura hidráulica. Fuente: Modificado de EPA (2016).	101
Figura 5.32. Costo de producción de cada <i>play</i> de gas en los Estados Unidos. Fuente: (Zendehboudi & Bahadori, 2018).	102
Figura 5.33. Cadena de valor del gas natural en México. Fuente: CNH (2018f).	104
Figura 5.34. Ubicación de áreas contractuales adjudicadas a PEMEX. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).	110
Figura 5.35. Procesamiento del gas natural. Fuente: Pérez Ruiz (2019).	118
Figura 5.36. Centros procesadores de gas en México. Fuente: Modificado de PEMEX (2019).	119
Figura 5.37. Puntos de inyección, centros procesadores de gas y terminales GNL. Fuente: Modificado de CNH (2018f).	122
Figura 5.38. Red de principales gasoductos. Fuente: CNH (2018f).	122
Figura 5.39. Zonas geográficas de distribución vigentes al amparo del marco regulatorio anterior (Directiva DIR/GAS/003/96). Fuente: CNH (2018f).	125
Figura 5.40. Servicios de la comercialización. Fuente: DOF (2014i).	126
Figura 5.41. Preocupaciones ambientales relacionadas con la producción de gas de lutitas. Fuente: Modificado de Zhiltsov (2017).	130
Figura A.1. Diagrama de mapa de ruta tecnológica de geotermia publicado por la Secretaría de Energía. Fuente: SENER (2018b).	149

Lista de abreviaturas y nomenclatura

Abreviaturas

ASEA	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente
API	Instituto Americano del Petróleo
CEE	Contrato de Exploración y Extracción
CENAGAS	Centro Nacional de Control del Gas Natural
CIEP	Contratos Integrales de Exploración y Producción
CNH	Comisión Nacional de Hidrocarburos
CNIH	Centro Nacional de Información de Hidrocarburos
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
COPF	Contratos de Obra Pública Financiada
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
CPG	Centro Procesador de Gas
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CCCVC	Contaminantes Climáticas de Vida Corta
DOF	Diario Oficial de la Federación
EIA	Administración de Información Energética de Estados Unidos
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
Fm.	Formación
FMPED	Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GNL	Gas Natural Licuado
HH	Henry Hub
IEA	Agencia Internacional de Energía
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
I&D	Investigación y desarrollo
IPGN	Índice de Referencia Nacional de Precios de Gas Natural
JKM	Marcador Corea Japón
Mbd	Miles de barriles por día
MMbpce	Millones de barriles de petróleo crudo equivalente
PERT	Técnica de revisión y evaluación de proyectos
RAE	Real Academia Española
SENER	Secretaría de Energía
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SISTRANGAS	Sistema Nacional de Gasoductos
Tcf	Trillones de pies cúbicos
TTF	<i>Title Transfer Facility</i>
VPM	Venta de Primera Mano

“Muchos años después, frente al pelotón de fusilamiento, el coronel Aureliano Buendía había de recordar aquella tarde remota en que su padre lo llevó a conocer el hielo”.

Gabriel García Márquez, Cien años de soledad

Capítulo Uno: Introducción

1.1 Definición de mapa de ruta tecnológica

El término inglés “*roadmap*” se traduce en español como “mapa de ruta” u “hoja de ruta”. Aunque únicamente el término “hoja de ruta” está definido en el diccionario de la Real Academia Española (RAE), ambos términos se usan comúnmente de manera indistinta.

La RAE define “hoja de ruta” como un “documento en el que constan las instrucciones e incidencias de un viaje o transporte de personas o mercancías” (RAE, 2020). Por lo que una hoja de ruta “tecnológica” o literalmente un mapa de ruta “tecnológico” connotan un documento perteneciente o relativo a la tecnología.

El sentido y procedencia del término varía en los diversos ámbitos en los que se usa, incluyendo el político, legal, financiero, educacional y organizacional (Kerr, Phaal, & Probert, 2013). La presente investigación considera su significado y utilización en el ámbito organizacional.

En principio, un mapa de ruta tecnológica es “*una representación gráfica de tecnologías que relaciona objetos (productos o competencias) y las conexiones que han evolucionado entre ellos a lo largo del tiempo*” (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

Un mapa de ruta tecnológica también se concibe como un “*instrumento de planeación estratégica basado en el futuro, que describe las metas, barreras y estrategias necesarias para alcanzar una perspectiva dada de avance tecnológico y penetración de mercado*” (Winebrake, 2004).

La Agencia Internacional de Energía define un mapa de ruta tecnológica como “*un conjunto dinámico de requerimientos técnicos, políticos, legales, financieros, organizacionales y de mercado identificados por todos los agentes interesados involucrados en su desarrollo*” (IEA, 2014).

El término mapa de ruta tecnológica carece de una definición única y un origen claro (Kerr, Phaal, & Probert, 2013). No obstante, las distintas definiciones en el ámbito organizacional convergen en elementos relacionados con su proceso de elaboración y actualización: el mapeo de ruta tecnológico.

1.2 Clasificación de los mapas de ruta tecnológica

Los mapas de ruta tecnológica pueden clasificarse según su propósito en ocho categorías: (1) planeación de producto; (2) planeación de capacidades; (3)

planeación estratégica; (4) planeación de largo alcance; (5) planeación de activos de conocimiento; (6) planeación de programa; (7) planeación de proceso y (8) planeación de integración (Phaal, Farrukh & Probert, 2004).

Asimismo, los formatos de los mapas de ruta pueden clasificarse en ocho categorías: (1) capas múltiples; (2) barras; (3) tabla, (4) gráfica; (5) pictórico; (6) flujo; (7) capa sencilla; y (8) texto (Phaal, Farrukh & Probert, 2004).

La clasificación de los mapas de ruta según el propósito y formato es indicativa, porque pueden existir combinaciones entre las categorías. Sin embargo, Phaal et al. (2001) identificaron en 40 mapas de ruta características para su buen desarrollo: (1) presentarlos en forma gráfica, (2) considerar múltiples capas, (3) mostrar la dimensión del tiempo, (4) considerar aspectos del negocio en su estructura (Phaal, Farrukh & Probert, 2001).

En resumen, el formato y proceso de elaboración de un mapa de ruta es flexible al depender de las circunstancias particulares de estudio consideradas (Phaal, Farrukh & Probert, 2001).

1.3 Definición de mapeo de ruta tecnológico

El “mapeo de ruta tecnológico” refiere a las actividades necesarias para elaborar y actualizar un mapa de ruta tecnológico. Precisamente, el mapeo de ruta tecnológico *“proporciona un medio estructurado (y a menudo gráfico) para explorar y comunicar las relaciones entre mercados, productos y tecnologías cambiantes y en desarrollo a lo largo del tiempo”* (Phaal, Farrukh & Probert, 2004).

El Instituto para la Manufactura (IfM) de la Universidad de Cambridge define el mapeo de ruta como *“una herramienta de planeación de alto nivel que puede usarse para soportar el desarrollo e implementación de estrategias y planes, así como la comunicación del plan”* (Phaal, Farrukh & Probert, 2001a).

El término mapeo de ruta tecnológico está relacionado con otros términos agrupables en tres categorías: (1) monitoreo tecnológico y vigilancia tecnológica; (2) pronóstico tecnológico, proyección tecnológica; y (3) análisis de eficiencia tecnológica y evaluación de impacto tecnológico (Porter & Cunningham, 2005).

En sentido estricto, el concepto “mapeo de ruta tecnológico” comprende solo actividades orientadas a tecnologías sobre productos o procesos. En el sentido más amplio, el concepto se refiere a todas las actividades relacionadas con tecnologías, productos, procesos, funciones, agentes de mercado, competencias, proyectos y muchos más aspectos (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

Originalmente, la Asociación Europea para la Administración de la Investigación Industrial (EIRMA) usó la perspectiva más amplia al presentar un modelo multinivel de mapeo de ruta tecnológico (EIRMA, 1997).

Algunos autores prefieren usar el concepto “mapeo de ruta” sin el calificativo “tecnológico” para referir dicho sentido más amplio y neutral (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013). Sin embargo, la presente investigación usa el concepto mapeo de ruta tecnológico en el sentido más amplio, a menos que se indique lo contrario.

1.4 Desarrollo histórico del mapeo de ruta tecnológico

El mapeo de ruta tecnológico es *“una técnica flexible que es ampliamente usada dentro de la industria para soportar la planeación estratégica y de largo alcance”* (Phaal, Farrukh & Probert, 2004).

Kerr y Phaal (2020) presenta una revisión detallada de las raíces industriales, la historia y los orígenes desconocidos del proceso de mapeo de ruta. En sí, los orígenes del mapeo de ruta tecnológica se registran a finales de la década de 1970 y principios de la 1980, cuando Motorola y Corning desarrollaron enfoques sistemáticos en la industria automotriz de Estados Unidos (Probert & Radnor, 2003).

Posteriormente, Lucent Technologies (Albright & Kappel, 2003), Phillips (Groenveld, 1997) y SIA (Kostoff & Schaller, 2001) destacaron su uso en el sector de electrodomésticos. Desde entonces las aplicaciones del mapeo de ruta tecnológica se extendieron a desarrollar estrategias de negocio, formular política, entender tendencias tecnológicas, seguir descubrimientos tecnológicos, así como priorizar proyectos de investigación y desarrollo (Amer & Daim, 2010).

Diversos autores han presentado revisiones y análisis de la literatura sobre el mapeo de ruta respecto a las contribuciones y tendencias (Carvalho, Fleury, & Lopes, 2013); así como los modelos (de Alcantara & Martens, 2019). También existen análisis bibliométricos sobre el tema (Gerdsri, Kongthon, & Vatananan, 2013).

Posiblemente los mapas de ruta estaban presentes en el pensamiento de las empresas e instituciones, pero sin materializarse gráficamente (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013). De hecho, la NASA, Boeing, GE, Lockheed, USAF, Rockwell International y el Departamento de Energía de Estados Unidos son organizaciones con contribuciones reconocidas recientemente (Kerr & Phaal, 2020).

En las últimas décadas, el mapeo de ruta tecnológica ha recibido gran atención en la academia e industria. Desde 1990, el número de publicaciones sobre el tema ha incrementado (Ver **Figura 1.1**) (SCOPUS, 2020).

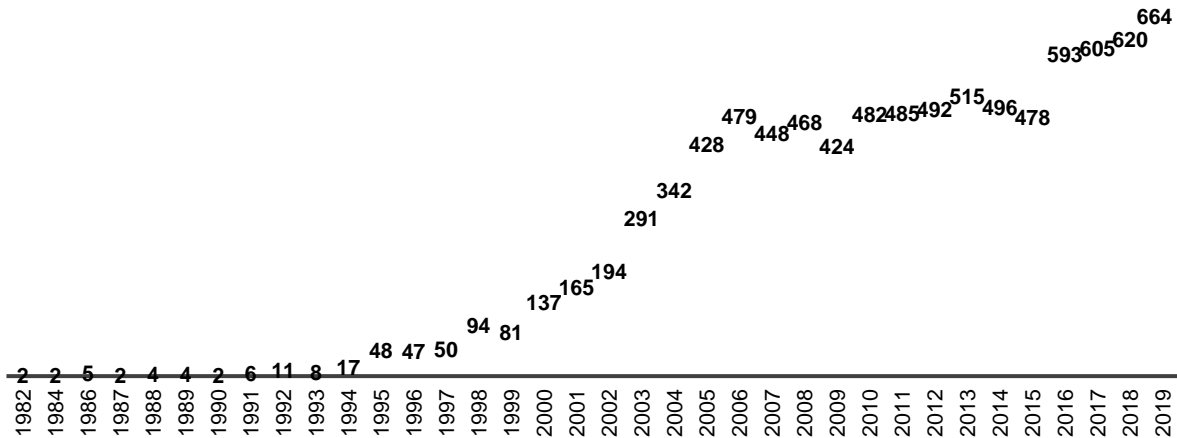


Figura 1.1. Número de publicaciones con el término “mapa de ruta tecnológica” o “mapeo de ruta” en el título, resumen o palabras clave.

Fuente: Elaboración propia con información de SCOPUS (2020).

Recientemente, la evolución de la investigación sobre mapeo de ruta se ha agrupado en siete escuelas de pensamiento: la escuela práctica de Cambridge, la escuela de Seúl, las escuelas de Portland/Bangkok, la escuela fenomenológica de Cambridge, la escuela de Beijing y la escuela de Moscú cuyos nombre refieren sus lugares de origen (Park, Phaal, Ho, & O'Sullivan, 2020).

La presente investigación converge en la escuela práctica de Cambridge, la cual ha establecido las bases para el mapeo de ruta basado en talleres. En particular, la aplicación más general del método de mapeo de ruta (Plan S).

1.5 Propósitos del mapeo de ruta tecnológico

Los mapas de ruta se han usado para definir problemas y necesidades, identificar retos y barreras, investigar brechas tecnológicas y de mercado, establecer visiones futuras y estrategias, evaluar el impacto de nuevas tecnologías y desarrollo de mercados, así como tomar decisiones sobre colocación de recursos, apoyo y evaluación de programas y políticas (Amer & Daim, 2010).

El mapeo de ruta tecnológica comprende aspectos considerados como elementos característicos: (1) su documentación física combinada con el propósito comunicativo (explicación de lo implícito); (2) su elaboración más allá de límites departamentales o empresariales (institucionalización); y (3) su combinación con otras herramientas (vinculación instrumental) (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

En los últimos 40 años el mapeo de ruta tecnológica se ha convertido en un reconocido método de investigación futuroológica. El proceso ha incursionado en diferentes industrias, campos de aplicación y expandido los alcances de su uso. En su desarrollo, el mapeo de ruta se ha vuelto una herramienta en administración de innovación que se ha combinado con diversas herramientas y métodos alcanzando aplicaciones más complejas (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

El uso de mapas de ruta se ha implementado en sectores industriales tan diversos como electrónicos, aeroespacial, defensa, manufactura, materiales, productos de papel, software, semiconductores, ciencias básicas, computación tecnologías de la información y comunicación, energía, salud, agricultura, servicios, transportes, ambiente y temas de cambio climático (Amer & Daim, 2010).

El mapeo de ruta tecnológica puede usarse en diferentes contextos y niveles: empresarial, interempresarial, sectorial y gubernamental (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

A nivel empresarial, el mapeo de ruta se propone como marco clave y método que apoya la implementación de los procesos de identificación, selección, adquisición, explotación y protección de la administración tecnológica (Phaal, Farrukh & Probert, 2013).

A nivel de redes de suministro (nivel interempresarial), el mapeo de ruta puede usarse para apoyar la coordinación, colaboración y cooperación en sistemas de innovación en redes (Petrick, 2013).

A nivel sectorial, el mapeo de ruta se usa activamente en Canadá. El objetivo principal es juntar diferentes grupos y analizar retos y oportunidades futuras, más que predecir descubrimientos en ciencia y tecnologías (Nimmo, 2013).

Finalmente, el mapeo de ruta a nivel gubernamental se concibe como un proceso para implementar política y trasladarla a planes estratégicos. De tal forma que permite descomponer las visiones del futuro en grandes proyectos (Kerr, Phaal, & Probert, 2013)

En resumen, el uso de mapas de ruta tecnológica comprende dos perspectivas principales: la empresarial y la multiorganizacional (interempresarial, sectorial y gubernamental) (Phaal, Farrukh & Probert, 2004).

La primera perspectiva permite integrar desarrollos tecnológicos con la planeación del negocio y evaluar el impacto de tecnologías nuevas y desarrollos del mercado.

La segunda busca capturar el entorno, amenazas y oportunidades para un grupo particular de interés en un área de aplicación o tecnológica (Phaal, Farrukh & Probert, 2004).

En principio, ambos enfoques requieren la identificación y participación activa de los grupos de interés. Por ello, un mapa de ruta es una herramienta colaborativa. Asimismo, es dinámica porque requiere revisiones y actualizaciones conforme evoluciona el contexto.

1.6 Proceso de mapeo de ruta tecnológico

El mapeo de ruta tecnológico carece de un proceso robusto y único. Éste se adapta según el enfoque y contexto organizacional en el cual se implementa. Sin embargo, como cualquier proceso, el mapeo de ruta tecnológico involucra ciertos pasos o etapas (Phaal, Farrukh & Probert, 2004). Diversos autores han resumido pasos clave del proceso de mapeo de ruta tecnológica (Bray & Garcia, 1997; Groenveld, 1997; Strauss, Radnor, & Peterson, 1998). No obstante, las fuentes no siempre incluyen una guía detallada sobre cómo aplicar el proceso (Phaal, Farrukh & Probert, 2001).

1.6.1 Clasificación de procesos de mapeo de ruta tecnológico

Existen muchas propuestas para desarrollar mapas de ruta tecnológica. En principio, las iniciativas de mapeo de ruta pueden clasificarse según su enfoque en exploratorio y normativo. Éstos a su vez se sub-clasifican según sean impulsados por el mercado, la tecnología o la normativa (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

Si bien el desarrollo de un mapa de ruta tecnológica puede orientarse a los requerimientos del cliente (enfoque de demanda de mercado) o al aprovechamiento de innovaciones tecnológicas que representan nuevas oportunidades de negocio (enfoque de empuje tecnológico); la combinación y balance de ambos aspectos son necesarios para el desarrollo efectivo de un mapa de ruta tecnológica (Phaal, Farrukh & Probert, 2001a).

La Tabla 1.1 presenta siete modelos de procesos clave para el mapeo de ruta tecnológica (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

Tabla 1.1. Modelos de procesos para el mapeo de ruta tecnológica. Fuente: Elaboración propia con información de Moehrle, Isenmann, & Phaal (2013).

Proceso	Descripción	Impulso
“Fast-start” (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013)	Se basa en talleres multifuncionales. Se muestra su uso a nivel producto y empresa.	Mercado
Agencia Internacional de Energía (IEA, 2014)	Se basa en talleres con expertos y actividades que crean consenso, se orientan a tecnologías específicas relacionadas con energía	Tecnológico
Conceptos generales (Schuh, Wemhöner, & Orilski, 2013)	Se usa como herramienta de administración para identificar y evaluar sistemáticamente tecnologías. El concepto “Ley de Moore” proporciona orientación en el proceso de mapeo respecto al futuro. Muestra cómo identificar y usar oportunidades.	Tecnológico
Escenarios (Geschka & Hahnenwald, 2013)	Punto inicial para el mapeo exploratorio basado en escenarios ambientales. Usa la técnica de escenario para construir y evaluar situaciones futuras. Herramienta para reaccionar a factores externos que determinan el desarrollo de una tecnología dada.	Mercado
TRIZ (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).	Se basa en la teoría de “solución inventiva de problemas” (referido con la palabra rusa TRIZ). Aprovecha el campo de oportunidades inspiradas tecnológicamente, añade la visión de mercado en una etapa posterior.	Tecnológico
Delphi (Kanama, 2013)	Enfoque de mapeo basado en el proceso Delphi. Integra distintas visiones (comercial y/o tecnológica). Aprovecha las fortalezas de ambos métodos (mapeo de ruta y Delphi)	Mercado Tecnológico
Tecnología Soporte Innovación (Abe, 2013)	Orientado al mapeo de ruta normativo. Parte de una visión de lo que se puede y debe alcanzar en el futuro, no necesariamente pronóstico.	Mercado

Proceso	Descripción	Impulso
	Integra el modelado de negocio y mapeo de ruta para incrementar el valor corporativo aprovechando los resultados de la investigación y desarrollo.	

Los siete modelos de procesos muestran diferentes maneras de elaborar mapas de ruta. El modelo varía según la premisa sobre la que se construye la visión del futuro que se quiere alcanzar y el proceso para definir las acciones a desarrollar (comercial o tecnológica). Además, el proceso se selecciona y adapta a la necesidad particular del contexto del negocio o industria (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

1.6.2 Procesos relevantes basados en talleres colaborativos

Dentro de los procesos de mapeo de ruta tecnológica con talleres colaborativos destacan los métodos de talleres de inicio rápido (“*Fast-Start*”) de la escuela práctica de Cambridge (Phaal, Farrukh & Probert, 2001a).

También destaca el proceso de la Agencia Internacional de Energía para desarrollar e implementar mapas de ruta tecnológica nacionales o regionales orientados a diversas tecnologías relacionadas con la energía (IEA, 2014). Aunque el proceso comparte características con el proceso de métodos de inicio rápido de la escuela práctica de Cambridge, la aplicación específica son tecnologías energéticas.

El enfoque de talleres de inicio rápido de mapeo de ruta tecnológica de la Universidad de Cambridge tiene dos variantes que aplican conceptos y técnicas similares: “Plan-S” y “Plan-T”. Las letras “T” y “S” se refieren en inglés a las palabras tecnología y estrategia, respectivamente (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

El Plan-S está orientado en retos estratégicos generales, comúnmente al nivel negocio, corporativo, sectorial y de política. El proceso reúne grupos de interés grandes y diversos en talleres de 1-2 días para explorar y priorizar asuntos estratégicos, desarrollar y alinear estrategias de innovación e investigación (Phaal, Farrukh & Probert, 2010).

El Plan-T se orienta al mapeo de ruta de producto-tecnología, reúne grupos de interés interdisciplinarios y de tamaño medio en talleres de 4 medios días para explorar y planear una innovación basada en producto (Phaal, Farrukh & Probert, 2001a).

Ambos planes involucran una serie de talleres con sesiones de discusiones dirigidas por facilitadores que aseguran el cumplimiento de una agenda. Si bien ambos

enfoques pueden combinarse, el Plan-S cubre un alcance más amplio, captura rápidamente perspectivas, identifica y prioriza temas clave para la exploración y planeación. Por su parte, el Plan-T es más apropiado cuando el tema se relaciona al nivel de innovación de procesos, servicios o productos (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

1.6.3 Etapas del mapeo de ruta tecnológico: Universidad de Cambridge

El proceso general de implementación del mapeo de ruta tecnológica puede clasificarse en tres etapas: (1) diseño, (2) iniciación, (3) desarrollo e (3) integración (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013).

La etapa de diseño del mapa de ruta es un paso clave porque proporciona la estructura que guía virtualmente todas las actividades en el proceso y de mapeo. La estructura del mapa de ruta captura y restringe límites y escalas de tiempo, permite el pre-llenado con información existente. La **Tabla 1.2** contiene 6 preguntas útiles para diseñar la arquitectura (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013).

Tabla 1.2 Preguntas clave para diseñar arquitectura del mapa de ruta.

Fuente: Phaal, Farrukh, & Probert (2013).

Eje horizontal (tiempo) →			
Eje vertical (capas)	¿A dónde queremos ir?	¿En dónde estamos?	¿Cómo podemos llegar ahí?
	¿Por qué necesitamos actuar?	¿Qué deberíamos hacer?	¿Cómo deberíamos hacerlo?

En el Plan-S la arquitectura se diseña previo al taller como parte del proceso de planeación, mientras que en el Plan-T la estructura se desarrolla durante los talleres. En ambos la calidad del mapa de ruta depende de la profundidad del conocimiento de los participantes (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013). No obstante, en ningún enfoque se aborda la importancia de información de dominio común entre los participantes ni tampoco la validez y calidad de la información que proporcionan.

La segunda etapa busca preparar a una organización antes de implementar el proceso (Gersdri & Vatananan, 2007). En la etapa de iniciación se seleccionan y preparan a los participantes respecto a conceptos básicos relacionados con el mapeo de ruta tecnológica. Gersdri et al. (2009) describen las funciones de los participantes y actividades de esta etapa, resaltando la recolección de datos. No obstante, los autores no mencionan detalles sobre posible material necesario o información preliminar para los participantes.

Las publicaciones que describen el uso de estos procesos no abundan en detalles sobre el material preparatorio para los talleres, sólo refieren el envío a los participantes de instrucciones, material informativo y cualquier preparación previa a los talleres (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013). Lo anterior porque el mapeo de ruta en estos enfoques rápidos actúa como herramienta de diagnóstico: mapea el conocimiento disponible y las visiones identifican brechas en conocimiento (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013).

La tercera etapa se caracteriza por la recolección de datos y análisis. En esa etapa se busca desarrollar el mapa de ruta deseado al reunir a las personas adecuadas, la información necesaria y conducir un análisis paso a paso (Gersri & Vatananan, 2007).

La serie de talleres se conduce para analizar los datos recolectados y presentar gráficamente los resultados en forma de mapa de ruta. Un facilitador es responsable de coordinar las fuentes de conocimiento relevantes y preparar a los participantes para el desarrollo del mapa de ruta (Gersri, Vatananan, & Sasawat, 2009).

La recolección de datos se hace interna y externamente. Además de analizar los datos, los talleres permiten compartir, transferir y crear conocimiento. La calidad del contenido presentado en el mapa de ruta es un indicador del éxito de las actividades (Gersri, Vatananan, & Sasawat, 2009).

En los métodos de inicio rápido, las plantillas de mapa de ruta son la base de las discusiones y dónde se recopila la información obtenida directamente del conocimiento y experiencia de los participantes (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

Finalmente, la cuarta etapa integra el proceso de mapeo de ruta en las actividades de planeación del negocio para oportunamente revisarlo y actualizarlo. La etapa sólo es necesaria si el mapeo de ruta desea incorporarse de manera continua en una organización (Gersri & Vatananan, 2007).

Por ello, al concluir los talleres se transcriben todos los resultados para registrar completamente el evento. Posteriormente, el grupo de trabajo (MRT empresarial) o el equipo facilitador (MRT sectorial) elabora un reporte en el que se interpretan y resumen los resultados. El reporte se sugiere en formato de presentación porque promueven un nivel de síntesis y resumen apropiados. El reporte también se puede circular y presentar a otras personas para validación y disseminación (Moehrle, Isenmann, & Phaal, 2013).

1.6.4 Etapas del mapeo de ruta tecnológico: Agencia Internacional de Energía

La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) presenta una guía de talleres colaborativos en el que las partes interesadas en su desarrollo identifican los requerimientos técnicos, legales, financieros de mercado y organizacionales para una tecnología energética específica (IEA, 2014).

Desde el 2009, la Agencia Internacional de Energía (IEA) ha publicado más de 22 mapas de ruta tecnológica enfocados a tecnologías viables y de alto impacto. Su desarrollo considera la participación cercana de actores relevantes (IEA, 2012).

La Agencia Internacional de Energía publicó en 2010 una guía para el desarrollo e implementación de Mapas de Ruta Tecnológicos de energía (IEA, 2010). La guía tiene como objetivo *“brindar a países y compañías el contexto, información y herramientas necesarias para diseñar, administrar e implementar un proceso efectivo de mapeo de ruta tecnológica de energía relevante a sus propias circunstancias locales y objetivos”* (IEA, 2010).

La guía de la IEA establece un proceso de mapeo de ruta con cuatro fases: (1) planeación y preparación; (2) visión o perspectiva; (3) desarrollo del mapa de ruta e (4) implementación, monitoreo y revisión del mapa de ruta. Cada una de las fases involucra dos tipos de actividades: (1) datos y análisis y (2) opinión de expertos y consenso (IEA, 2014).

En la edición de 2014, la guía de la EIA incluye lineamientos generales para el desarrollo de una línea base tecnológica como esfuerzo inicial de un mapa de ruta de energía dentro de la fase de planeación y preparación (IEA, 2014).

En ese sentido, la IEA reconoce la importancia de que los participantes tengan un entendimiento efectivo e igualitario del estado actual como línea base para estructurar actividades y establecer prioridades (IEA, 2014).

La IEA señala que el desarrollo de datos de línea base incluye un análisis de la situación actual de los factores clave que afectan el mapa de ruta (Tabla 1.3).

Tabla 1.3 Factores clave que afectan un mapa de ruta. Fuente: IEA (2014).

Factor
Oferta y demanda de energía
Crecimiento económico
Comercialización tecnológica
Desarrollo y necesidad de infraestructura

Factor
Capacidades institucionales Política y regulación energética y ambiental

Asimismo, la Figura 1.2 muestra algunos datos y análisis que la mayoría de las actividades de mapeo de ruta de energía requerirán para establecer la línea base tecnológica y que finalmente permiten un modelo del sistema energético (IEA, 2014).



Figura 1.2. Insumos para modelo de sistema energético. Fuente: IEA (2014).

El primer paso de una línea base es crear una lista del tipo de datos necesarios para manejar el propósito, alcance y objetivo del mapa de ruta. El desarrollo de datos de la línea base requiere un análisis de la situación actual. Comúnmente, existen tres grandes áreas temáticas para dicho análisis: tecnología, mercado y política (IEA, 2014).

Precisamente, el análisis de la situación actual tiene el propósito de identificar y recopilar información del estado presente de la tecnología, mercado y política en cada uno de los subtemas que se mencionan de manera indicativa en la Tabla 1.4 (IEA, 2014).

Tabla 1.4 Principales temas para análisis de la situación actual. Fuente: IEA (2014).

Tema	Objetivo de información
Tecnología	Proyecciones y tendencias que se espera afecten la tecnología abarcando aspectos como: costos, desempeño, productores, vendedores, penetración de mercado, limitaciones.
Mercado	Factores que afecten la estructura del mercado y sus participantes, así como proyecciones para los sectores o segmentos del mercado. La información incluye aspectos como estado de la cadena de suministro, número de compañías, tamaño del mercado, número de participantes, características del sistema energético, impacto ambiental.
Política	Tendencias que conlleven nuevas políticas o eviten la promulgación de políticas. Incluye el estado actual y requerimientos de las leyes, regulación, directivas políticas existentes y otras reglas que afectan la tecnología y mercado.

La guía señala como fuentes para recopilar información en la revisión del análisis de la situación: la consulta de expertos de los ámbitos académico e industrial; consulta con asociaciones comerciales y con funcionarios públicos, así como búsquedas en la web (sitios de proveedores de tecnología, asociaciones comerciales y secretarías de gobierno) (IEA, 2014).

Adicionalmente, el desarrollo de la línea base requiere de estadísticas de energía detalladas de cada país. Cuando el país carece de éstas, la IEA propone desarrollar una colección de datos más robusta y sistemas de evaluación (IEA, 2014).

Dada la aplicación en el sector energético, los talleres de mapeo de ruta tecnológica de la IEA consideran la relevancia de los datos e información actualizada para el desarrollo de los talleres. Si bien proporciona pautas del contenido de la línea base, una guía con los detalles de su estructura, presentación y formato no son evidentes.

1.7 Experiencia internacional del mapeo de ruta en el sector de energía

El sector de energía presenta gran actividad en el uso de mapas de ruta tecnológica. La Figura 1.3 muestra la clasificación sectorial de 1,453 mapas de ruta de dominio público en 2010. En ese entonces el sector de energía ocupaba la cuarta posición (Amer & Daim, 2010).

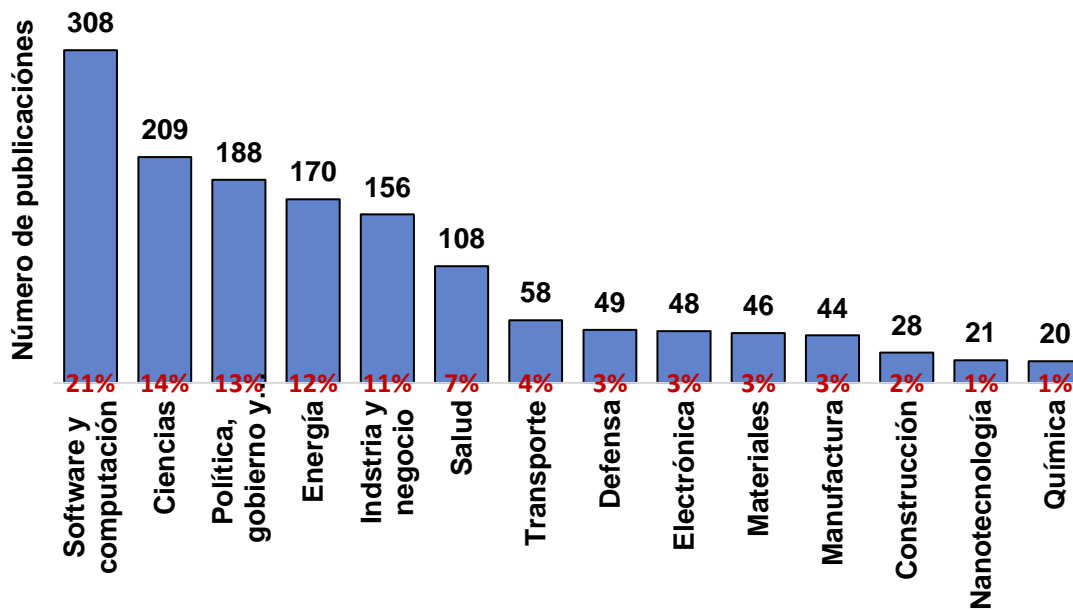


Figura 1.3. Mapas de ruta de dominio público de varios sectores en 2010.
Fuente: Amer & Daim (2010).

Evidentemente, los mapas de ruta en el sector energía se enfocan principalmente en la investigación, desarrollo y uso de tecnologías de energías renovables tanto por el sector público como privado (Amer & Daim, 2010). Las publicaciones de mapas de ruta tecnológica en exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales son escasas como se describe a continuación.

En 2012, el gobierno de Australia desarrolló un mapa de ruta para los proyectos de gas no convencional en el sur de Australia. El propósito era asegurar que las personas potencialmente afectadas por los proyectos entendieran el marco regulatorio y los procesos de evaluación ambiental, entre otros aspectos. El gobierno conformó un grupo consultivo integrado por 212 miembros (Government of South Australia, 2012).

En 2015, el gobierno de Reino Unido publicó un Mapa de Ruta Regulatorio para la exploración de gas y aceite en Reino Unido. El documento explica el proceso de autorizaciones y permisos para la exploración terrestre de gas y petróleo, incluyendo operaciones con *shale gas* y *coal bed methane*. Asimismo, proporciona una revisión indicativa de los procesos, resalta partes esenciales de la regulación, identifica acciones y mejores prácticas en varias etapas (UK Government, 2015).

En 2017, la Alianza de Tecnología de Petróleo de Canadá (PTAC, por sus siglas en inglés) publicó el Mapa de Ruta de Innovación en *shale gas* y *tight oil*. El objetivo

era informar a la industria, gobierno y academia para manejar la investigación actual, así como los retos y oportunidades tecnológicas relacionadas con el desarrollo de la fractura hidráulica multi-etapas en ese tipo de recursos. Lo anterior permitiría profundizar el entendimiento del potencial de investigación científica y desarrollo tecnológico para proporcionar soluciones en la industria (PTAC, 2017).

1.8 Experiencia nacional del mapeo de ruta en el sector de energía

En 2012, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) desarrolló para Pemex Exploración y Producción los mapas de ruta de las áreas tecnológicas estratégicas de los proyectos Delta del Grijalva, Crudo Ligero Marino y Ku-Maloob-Zaap. El principal objetivo fue ayudar a Pemex a identificar las necesidades y acciones tecnológicas prioritarias (IMP, 2012).

La Secretaría de Energía de México (SENER) publicó en 2014 la primera versión del Mapa de Ruta Tecnológica sobre la Captura, Almacenamiento y Uso del Carbono (CCUS, por sus siglas en inglés), en el cual planteó la estrategia para lograr desplegar esta tecnología en México (SENER, 2018a).

Posteriormente, la SENER y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) encabezaron la actualización del Mapa de Ruta en colaboración con PEMEX, CFE, Centro Mario Molina, entre otras instituciones mexicanas (SENER, 2018a).

Asimismo, la SENER a través del Fondo de Sustentabilidad Energética realizó un proyecto con el Instituto Mexicano del Petróleo para la elaboración de MRT para distintas energías renovables. El objetivo principal fue identificar los retos y las barreras que enfrenta el país para el aprovechamiento sustentable de las energías renovables al 2030 (SENER, 2018b).

El proceso del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) combinó el proceso y enfoque de la Universidad de Cambridge y la Agencia Internacional de Energía con su experiencia en la elaboración de mapas de ruta del sector hidrocarburos para desarrollar los mapas de ruta tecnológica en el sector de energías renovables en México (SENER, 2018b)

La revisión documental demuestra que la administración pública federal tiene experiencia en la elaboración de mapas de ruta tecnológica mediante talleres colaborativos dentro del sector energía. En particular, la SENER y PEMEX han usado el mapeo de ruta en temas relevantes a través del conocimiento del IMP que integra aspectos de las metodologías de Cambridge y de la IEA.

En ese sentido, la elaboración de un MRT involucra un proceso de planeación pertinente y multidisciplinario. Éste permitiría establecer y justificar en conjunto con todas las partes interesadas la posible estrategia respecto a las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales en México.

Si bien el proceso de mapeo de ruta mediante talleres colaborativos requiere la participación activa de las partes interesadas, el diseño de los talleres involucra un trabajo de investigación previo sobre el tema objeto de estudio. Dicha investigación tiene como resultado la generación de material documental base que brinda información común a los participantes y guía los talleres de elaboración del mapa de ruta.

1.9 Conclusión

El presente **Capítulo Uno** proporciona la introducción y marco teórico de la investigación. El capítulo inicia con la definición de mapa de ruta tecnológica y su clasificación. También se define el mapeo de ruta tecnológico, su uso y proceso. En los procesos de elaboración de mapas de ruta tecnológica se destacan los de la Universidad de Cambridge y la Agencia Internacional de Energía (IEA). En el contexto de ambos procesos se bosqueja el estudio de línea base como parte relevante previa a la elaboración del mapa de ruta tecnológica. En ese sentido, la revisión de la literatura muestra la falta de guías sobre el estudio de línea base. En particular, la falta de detalles sobre su contenido, fuentes y presentación. Aun cuando se identifica una guía de la IEA, ésta se identifica general y carente de un ejemplo práctico que muestre su implementación. Finalmente se presentan los trabajos de mapeo de ruta tecnológica dentro del sector energía, incluyendo la experiencia nacional e internacional. Al respecto, la revisión de la literatura revela el número limitado de mapas de ruta tecnológica sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas. Por ello y por la experiencia nacional previa, el mapeo de ruta tecnológica se identifica como herramienta útil para abordar la necesidad de una estrategia sobre el tema en México.

Capítulo Dos: Problemáticas a resolver e impactos potenciales

La presente investigación está motivada por dos razones: (1) la ausencia de documentos guía para la elaboración de estudios de línea base para talleres de MRT y (2) la falta de una estrategia en yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México. Ambas motivaciones se describen a continuación. En ese sentido, el enunciado del problema comprende los dos aspectos.

2.1 Ausencia de documento guía en talleres de MRT

Las actividades preliminares y de seguimiento son clave en el mapeo de ruta (García & Bray, 1997). Los procesos existentes de mapeo de ruta reconocen y enfatizan la importancia de contar con información y análisis previo al desarrollo de los talleres (García & Bray, 1997; Gerdri & Vatananan, 2007; Moehrle, Iseemann, & Phaal, 2013).

Por ello, el primer motivo se identifica al revisar los procesos principales de elaboración de mapa de ruta mediante talleres colaborativos: los de la Universidad de Cambridge (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013) y la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2014).

En los procesos de la Universidad de Cambridge no se identifica una guía para el desarrollo de material documental previo a los talleres, como soporte para el facilitador del taller y referencia de los participantes (Phaal, Farrukh, & Probert, 2013).

En particular, el Plan-T de la Universidad de Cambridge la omite por la propia naturaleza tecnológica y no sectorial del enfoque, que busca ser una herramienta diagnóstico y de recopilación de información. Por su parte, el Plan-S refiere de forma general y con pocos detalles el material informativo y cualquier preparación previa a los talleres.

El proceso de la Agencia Internacional de Energía refiere aspectos para el desarrollo de material documental previo a los talleres a través de una línea base de investigación (IEA, 2014). En su caso, la descripción y los detalles que brindan al respecto son mínimos y generales.

Precisamente, en los talleres de elaboración de mapas de ruta tecnológica de las energías renovables en México (SENER, 2018b), el IMP implementó empíricamente y con pautas de la Agencia Internacional de Energía el uso de material documental

que permitiera guiar las discusiones y sirviera de referencia para los participantes. Dicho material documental le denominó “línea base” del mapa de ruta tecnológica.

En resumen, la literatura es escasa sobre la elaboración de material informativo o documento guía con el análisis del tema que soporte el desarrollo de los talleres en los que se elaboran los mapas de ruta tecnológica en el sector energía. Aún más escasos son los detalles respecto al formato, contenido e importancia de dicho material documental.

Aunque es evidente que la investigación previa a la elaboración de un mapa de ruta es parte esencial de la “línea base”; no existen lineamientos para elaborarla y que la aplicación de los mismos sea ejemplificada en algún caso de estudio, al menos en el contexto de mapas de ruta en el sector energía y política pública.

2.2 Falta de estrategia en yacimientos no convencionales

México posee capacidades tecnológicas (de la Vega Navarro & Ramírez Villegas, 2015); así como regulación orientada a permitir las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales (DOF, 2017a; DOF, 2016a; DOF, 2017b; DOF, 2018a).

Por ello, un segundo motivo que impulsa la presente investigación surge al identificar la carencia de una política pública sobre el tema de yacimientos de lutitas en México. Si bien existieron esfuerzos en la Administración Pública Federal 2012-2018 para promover el aprovechamiento de los recursos no convencionales (SENER, 2018c; CNH, 2018a), estos esfuerzos no lograron concretarse (CNH, 2018b).

En ese sentido, un mapa de ruta tecnológica se visualiza como una herramienta pertinente para satisfacer la carencia de una estrategia de planeación integral y necesaria para justificar la decisión de política energética relacionada con la exploración y extracción en áreas terrestres no convencionales.

Al revisar la existencia de mapas de ruta tecnológica enfocados a la exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos de lutitas, se identificaron escasas publicaciones sobre el tema, al menos de dominio público. Una de las publicaciones es un MRT para proyectos de gas no convencional en Australia del Sur (Government of South Australia, 2012) y la otra un MRT sobre regulación y mejores prácticas de exploración de gas y petróleo en Reino Unido (UK Government, 2015).

En la revisión de la literatura se encontraron dos hallazgos que motivan el desarrollo de la investigación sobre mapas de ruta tecnológica en exploración y extracción de

yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México: (1) la identificación inexistente de lineamientos para elaborar un estudio de línea base, los cuales se apliquen a un caso de estudio concreto y (2) las escasas publicaciones sobre MRT en yacimientos no convencionales.

La presente investigación busca resolver dos problemas: (1) la necesidad de contar con lineamientos que permitan generar estudios de línea base para talleres de elaboración de mapas de ruta tecnológica en el sector energía. Así como (2) la carencia de una estrategia de política energética para el aprovechamiento de hidrocarburos en áreas terrestres no convencionales (*shale*) en el contexto tecnológico y regulatorio de México.

A partir de lo anterior, surgen dos preguntas que resumen el problema a resolver: (1) ¿Cómo se elabora un estudio de línea base? y (2) ¿Cuál es el contenido que debe tener un estudio de línea base para el mapeo de ruta para el aprovechamiento de hidrocarburos no convencionales en áreas terrestres?

La investigación parte de la premisa de que los estudios de línea base son un elemento necesario en el mapeo de ruta tecnológica. La hipótesis que se plantea es que el estudio de línea base para el mapeo de ruta tecnológica en el ámbito del sector energético comprende la revisión de aspectos tecnológicos, de mercado y políticos que contextualizan el propósito del mismo.

Los resultados de la investigación permitirán establecer lineamientos prácticos para elaborar estudios de línea base para el mapeo de ruta tecnológica para el sector energía. Particularmente, los lineamientos deberán guiar la generación de un diagnóstico integral de la problemática que se busca resolver en el ámbito sectorial y contener información que sirva de base a los facilitadores y especialistas que participen en los talleres.

La pertinencia de los lineamientos se podrá explorar a partir de su aplicación en un caso práctico; es decir, los resultados deben ser aplicables para elaborar el estudio de línea base para un taller de mapa de ruta tecnológica sobre exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

El objetivo general es (1) desarrollar lineamientos para elaborar el estudio de línea base para los talleres de elaboración de mapas de ruta tecnológica en el sector energía e (2) implementar los lineamientos para generar un estudio de línea base para un taller de elaboración de mapa de ruta tecnológica para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Los objetivos específicos son: (1) caracterizar el contenido, fuentes, presentación y relevancia del estudio de línea base de investigación que brinde información común a los participantes y guíe la discusión en los talleres para elaborar mapas de ruta tecnológica; (2) realizar un diagnóstico del contexto mexicano actual para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas y (3) proponer a través del contenido del estudio de línea base los aspectos básicos a considerar para definir una estrategia que justifique la exploración y extracción en yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Los lineamientos se orientan a estudios de línea base para talleres de MRT dentro del sector energía. Por lo que el alcance de los lineamientos se circunscribe a MRT a nivel sectorial y gubernamental, más no a nivel empresarial o interempresarial. En particular, los lineamientos son directamente aplicables dentro del sector energía.

La elaboración del mapa de ruta tecnológica está fuera del alcance porque requiere la participación activa de los grupos de interés, la cual ocurre en los talleres especialmente planeados para recopilar y discutir información. No obstante, el estudio de línea base es parte clave del proceso de planeación y soporte de los talleres.

La presente investigación busca impactar en dos ámbitos: (1) desarrollar lineamientos para elaborar el estudio de línea base para talleres de mapas de ruta tecnológica en el sector energía e (2) señalar la importancia nacional de realizar talleres de mapa de ruta tecnológica para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

2.3 Desarrollar lineamientos para elaborar el estudio de línea base

El principal impacto potencial es el desarrollar lineamientos para elaborar el estudio de línea base para talleres de mapas de ruta tecnológica en sector energético, la cual podría extrapolarse a otros sectores.

El desarrollar lineamientos para elaborar la línea base de investigación es fundamental para implementar exitosamente el proceso de mapeo de ruta basado en talleres colaborativos, en los que como cualquiera de las herramientas de análisis estratégico se promueve la discusión colectiva (Phaal, Farrukh & Probert, 2004).

Los lineamientos son necesarios para elaborar un documento que brinde información a los participantes y guíe de manera informada y efectiva la discusión en los talleres. El estudio de línea base aseguraría contar con una plataforma de conocimiento común entre los participantes y brindaría una fuente inmediata de

datos correctos y validados necesarios para construir sobre ellos una discusión fructífera con calidad en la información generada.

2.4 Señalar la importancia nacional de realizar talleres de MRT

El segundo impacto potencial es señalar la importancia de promover el debate en un tema polémico y de interés nacional: la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Debido a la polémica del tema y la existencia de diversos grupos de interés alrededor de la misma, el prever talleres colaborativos para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica sobre el tema representa una iniciativa relevante en el ámbito nacional.

Si bien el alcance de la presente investigación no incluye la elaboración del mapa de ruta tecnológica, el estudio de línea base serviría como base para su posterior elaboración y definición de la estrategia de política energética en esta materia. Asimismo, el estudio de línea base sobre el tema representa por sí mismo una fuente de consulta organizada, confiable y actualizada sobre el tema.

2.5 Estructura de la tesis

El **Capítulo Dos** describe la motivación de la investigación y enuncia el problema. En general, la motivación se sustenta en dos aspectos: (1) la ausencia de lineamientos para elaborar un estudio de línea base para los talleres de elaboración de mapa de ruta tecnológica en el sector energía, los cuales se apliquen a un caso de estudio concreto y (2) la falta de una estrategia en México para el aprovechamiento de yacimientos no convencionales. En ese sentido se plantea la problemática a resolver con la presente investigación. Al respecto, se establece la hipótesis, objetivos y alcance de la investigación. También se describen los impactos potenciales en torno a dos resultados esperados: (1) el desarrollo de lineamientos para elaborar el estudio de línea base de investigación para talleres de mapa de ruta tecnológica en el sector energía, los cuales se aplican a un caso de estudio concreto y (2) señalar la importancia de fomentar el debate en el tema de exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

El **Capítulo Tres** describe la metodología de investigación. La metodología utilizada para el desarrollo de la tesis comprende tres etapas. La primera consiste en la revisión de literatura sobre el estudio de línea base. La segunda comprende la identificación y evaluación del contenido, fuentes y presentación del estudio de línea base. Finalmente, la tercera corresponde a la aplicación de los resultados obtenidos para elaborar un estudio de línea base de un caso de estudio particular.

El **Capítulo Cuatro** desarrolla la metodología investigación. Primero se establece la noción e importancia del estudio de línea base. Posteriormente, se identifica el contenido y fuentes necesarias en un estudio de línea base. Para ello, se realiza un análisis de reportes y diagramas de mapas de ruta tecnológica del sector energía de dominio público. Así, se identifican los componentes básicos y establece el contenido del estudio de línea base. La presentación del estudio de línea base considera sugerencias generales de la literatura respecto a los métodos más eficaces para presentar información. Finalmente, mediante entrevistas a expertos en el tema de mapas de ruta tecnológica se identifica, evalúa y en su caso corrobora el contenido, fuentes, presentación y relevancia de la línea base. Asimismo, se identifican aspectos en su distribución y sugerencias relevantes a considerar con el estudio de línea base.

El **Capítulo Cinco** muestra la implementación de los lineamientos para elaborar el estudio de línea base al caso hipotético de un taller de mapa de ruta tecnológica sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México. En ese sentido, la aplicación de los lineamientos se muestra en formato de reporte extenso, así como de forma no exhaustiva en formato de presentación e infografía (anexos). El reporte extenso comprende la introducción, los fundamentos normativos; así como referencias nacionales e internacionales sobre el tema. Con base en esto se plantea la perspectivas, metas e impulsores aplicables para México. Posteriormente se cubre el diagnóstico de la situación actual. Dicho diagnóstico comprende las cuatro secciones propuestas en los lineamientos para elaborar el estudio de línea base: política, mercado, tecnología y cadena de valor. Finalmente, el estudio de línea base concluye con la identificación de los retos y barreras en la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México. El contenido, relevancia y presentación del estudio de línea base se evalúa con entrevistas a dos grupos de personas. El primer grupo comprende a expertos en política, mercado, tecnología y/o cadena de valor del caso de estudio. El segundo grupo comprende a personas con experiencia práctica en el desarrollo de talleres para la elaboración de mapas de ruta tecnológica. Finalmente, se presentan y discuten los resultados y hallazgos de las entrevistas.

El **Capítulo Seis** presenta recomendaciones generales y conclusiones respecto a los lineamientos para elaborar el estudio de línea base, así como de la aplicación al caso de estudio de la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Capítulo Tres: Metodología de investigación

3.1 Revisión de la literatura sobre el estudio de línea base

La literatura disponible sobre la elaboración del material informativo para el mapeo de ruta tecnológica es escasa.

En el contexto de mapas de ruta en el sector energía y política pública, la Agencia Internacional de Energía es la única organización que provee elementos para generar un estudio de línea base como parte de la fase de planeación y preparación (IEA, 2014).

En cuanto al contenido, el estudio de línea base de la IEA parte de una lista del tipo de datos necesarios para manejar el propósito, alcance y objetivo del mapa de ruta, cuyo desarrollo requiere analizar la situación actual de los factores clave que afectan el tema del mapa de ruta en tres áreas: tecnología, mercado y política (IEA, 2014).

Si bien para las tres áreas temáticas se sugieren los temas a considerar, no es evidente la aplicación de la guía a un caso de estudio concreto que permita valorar y entender cómo se materializan las pautas en un estudio de línea base específico.

En cuanto a las fuentes, la guía de la IEA sugiere fuentes generales para recopilar información sobre el estudio de línea base, careciendo de una identificación más detallada y enfocada a las fuentes necesarias para un caso particular de energía o disponibles para un país.

La guía para el desarrollo e implementación de mapas de ruta tecnológicos de energía de la IEA proporciona una sección con pautas del contenido y fuentes de consulta para el estudio de línea base, pero son demasiado generales. Para el contenido se listan los posibles temas que se pueden incluir; mientras que las fuentes de consulta meramente se listan agrupadas como “consultas a expertos”, “sitios en la red” y “consultas adicionales”; sin incluir referencias concretas con uso extensivo en el sector energía. Si bien la guía sugiere temas a considerar según ciertos casos hipotéticos de MRT, se carece de un caso de estudio particular que muestre la implementación de las pautas.

Más allá de lo propuesto por la IEA, la literatura relacionada con el mapeo de ruta tecnológica carece de lineamientos específicos para elaborar el estudio de línea base con detalles de su contenido, fuentes y presentación; así como de la aplicación a un caso de estudio específico que permita valorar como se materializan las pautas en un estudio de línea base.

Por ello, la presente investigación tiene el objetivo general de proponer lineamientos particulares para elaborar el estudio de línea base para los talleres de elaboración de mapas de ruta tecnológica en el sector energía.

3.2 Identificación y evaluación del contenido, fuentes y presentación del estudio de línea base

La especificación del contenido y fuentes del estudio de línea base se establece mediante una metodología de investigación archivística. La investigación archivística consiste en la colección y análisis de documentos públicos relacionados principalmente a estrategias organizacionales o gubernamentales (Easterby Smith, Thorpe, & Jackson, 2015).

La investigación archivística es apropiada para los fines de la tesis porque aprovecha reportes gubernamentales de mapas de ruta en el sector energía de dominio público (información textual secundaria) relevantes y pertinentes que se ajustan al tema de investigación. Asimismo, la información de los reportes publicados por el gobierno asegura cierta calidad y brinda una perspectiva del proyecto de MRT que implementó el gobierno mexicano.

Si bien el uso de esta información secundaria tiene la ventaja del ahorro de tiempo y esfuerzo al no requerir coleccionar información nueva para la investigación (Easterby Smith, Thorpe, & Jackson, 2015), en el presente trabajo el uso de la información textual secundaria complementa los datos primarios obtenidos de las entrevistas.

Específicamente, los diagramas de mapa de ruta tecnológica son el punto de partida para determinar los elementos necesarios en el estudio de línea base (**Anexo A**). Los reportes de mapa de ruta tecnológica también se consideran de manera complementaria. El **Anexo B** presenta la lista de los diagramas y reportes de mapa de ruta tecnológica analizados, así como su dirección electrónica en la red para pronta referencia y consulta.

Los diagramas y reportes de mapas de ruta tecnológica consultados incluyen energía solar térmica (SENER, 2018l; SENER, 2018m) ; biogás (SENER, 2018n; SENER, 2018ñ); biodiésel (SENER, 2018o; SENER, 2018p); biocombustibles sólidos (SENER, 2018q; SENER, 2018r); bioetanol (SENER, 2018s; SENER, 2018t); bioturbosina (SENER, 2018u; SENER, 2018v); geotermia (SENER, 2018w; SENER, 2018x); energía del océano (SENER, 2018y; SENER, 2018z); energía solar fotovoltaica (SENER, 2018aa; SENER, 2018bb); energía eólica (SENER, 2018cc; SENER, 2018dd) y usos directos del calor geotérmico (SENER, 2018ee; SENER, 2018ff).

El análisis permitió identificar y proponer el contenido mínimo del estudio de línea base, así como las fuentes más pertinentes para su desarrollo y su presentación. El formato de presentación más apropiado considera lineamientos empíricos para presentar información técnica.

La evaluación del contenido, fuentes, presentación y la relevancia del estudio de línea base se realizó a través de entrevistas semi-estructuradas. Las entrevistas constaron de siete preguntas base. Las preguntas buscan evaluar cuatro aspectos del estudio de línea base: contenido, fuentes, presentación y relevancia.

Para esta etapa se realizaron dos entrevistas con personas con amplia experiencia práctica en talleres de mapa de ruta tecnológica. El perfil de las personas entrevistadas se describe a continuación.

La ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. muestra los nombres, perfil de las personas entrevistadas y su experiencia en la elaboración de mapas de ruta mediante talleres colaborativos.

Tabla 3.1 Personas entrevistadas para evaluar la propuesta de estudio de línea base para talleres de mapas de ruta tecnológica del sector energía.

Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Experiencia
Dra. Zoloxóchitl del Consuelo Aquino Campos	Experta en la dirección y ejecución de proyectos de gestión tecnológica y de mejora de procesos en el sector energía. Experiencia práctica en talleres de mapa de ruta tecnológica en diversos temas, incluyendo energía.
Dr. Agustín González Ortiz	Consultor independiente en gestión e innovación tecnológica. Colaboró con el IMP en el proyecto de Mapas de Ruta Tecnológica para distintas energías renovables.
Dr. Carlos López-Gómez	Consultoría en política industrial e innovación. Asesoría a gobiernos nacionales y regionales, así como organizaciones internacionales. Director de Policy Links, unidad consultora de la Universidad de Cambridge, que usa talleres y mapas de ruta para informar las políticas.

Las entrevistas se realizaron de manera virtual durante la segunda semana de febrero de 2021, éstas tuvieron una duración aproximada de 30 minutos. La ¡Error!

No se encuentra el origen de la referencia. presenta las preguntas usadas en las entrevistas semi-estructuradas.

Tabla 3.2 Instrumento de evaluación para evaluar la propuesta de estudio de línea base. Fuente: Elaboración propia.

Tema	Preguntas
Referencias	1. ¿Conoce referencias sobre cómo elaborar reportes de línea base para el proceso de elaboración de mapas de ruta tecnológica sectoriales? ¿Cuáles?
Relevancia	2. ¿Considera relevante un reporte de línea base como parte del proceso de desarrollo de mapas de ruta tecnológica sectoriales? ¿Cuáles?
Contenido	3. ¿Qué elementos temáticos debería contener un reporte de línea base de investigación para un mapa de ruta sectorial?
Fuentes	4. ¿Qué fuentes debería tomarse en cuenta en la elaboración del reporte de línea base?
Presentación	5. ¿Qué elementos de presentación debería considerar un reporte de línea base para mapas de ruta sectoriales? 6. ¿Qué aspectos deberían considerarse para la distribución del reporte de línea base a los participantes en los talleres de mapa de ruta? Explicar las razones
Comentarios	7. ¿Tiene comentarios o sugerencias adicionales respecto al reporte de línea base? ¿Cuáles? Explicar las sugerencias

Las preguntas buscan evaluar las referencias (pregunta 1), la relevancia (pregunta 2), el contenido (pregunta 3), las fuentes (4) y la presentación (pregunta 5 y 6) de los lineamientos para generar el documento de línea base de investigación de los talleres para elaboración de mapas de ruta tecnológica en energía. Adicionalmente, el instrumento permite identificar los comentarios y/o sugerencias (pregunta 7), respecto al tema.

3.2.1 Aplicación y evaluación de los lineamientos para generar un estudio de línea base a un caso particular

Los lineamientos propuestos se aplicaron al caso hipotético de un taller de elaboración de mapa de ruta tecnológica para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México. La elaboración del estudio se realizó mediante una investigación documental para obtener la información necesaria.

Para evaluar la pertinencia de los lineamientos propuestos, se realizaron entrevistas semiestructuradas. Las entrevistas comprendieron nueve preguntas base, las cuales tuvieron el propósito de evaluar tres aspectos del estudio: contenido, presentación y relevancia. Las entrevistas se efectuaron de manera personal a través de videoconferencia con seis personas divididas en dos grupos. El primero con experiencia práctica en talleres colaborativos para elaboración de mapas de ruta tecnológica. El segundo a personas con experiencia en la extracción y exploración de hidrocarburos en yacimientos no convencionales de lutitas en México.

Previo a la realización de las entrevistas, los especialistas recibieron con al menos dos semanas de anticipación para su revisión el estudio de línea base en tres formatos distintos con carácter no exhaustivo: (1) reporte (**Capítulo Cinco**) con resumen ejecutivo (**Anexo E**); (2) infografía (**Anexo C**) y (3) presentación (**Anexo D**).

Las dos personas entrevistadas en el primer grupo tienen experiencia en la elaboración de los mapas de ruta tecnológica en energías renovables, una tiene Maestría en Gestión de Tecnología y la otra un Doctorado en Ingeniería Industrial, ambas personas laboran en el Instituto Mexicano del Petróleo.

El número de expertos en la realización de mapas de ruta sectoriales basados en talleres es reducido. Si bien se buscó entrevistar todos los perfiles que han encabezado iniciativas de MRT (coordinador, moderador y facilitador), no fue posible concretar la entrevista con la persona con perfil de moderador.

El perfil del segundo grupo de entrevistados tiene experiencia en el sector petrolero, ya sea en temas de política, mercado, tecnología y/o cadena de valor relacionados con la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Un primer entrevistado es Doctor en Ingeniería Petrolera con especialización en yacimientos no convencionales y maestro de tiempo completo en la UNAM. Otro entrevistado es Maestro en Energía y Recursos Terrestres y director de información estadística en la CNH. Un tercer entrevistado es Doctor en Ciencias Políticas y exasesor en la subsecretaría de hidrocarburos de la SENER.

La **Tabla 3.3** presenta un resumen de la metodología usada para desarrollar la presente investigación.

Tabla 3.3. Resumen de la metodología. Fuente: Elaboración propia.

No.	Etapas	Método	Descripción
1	Identificación y exploración de la pertinencia de los lineamientos para el desarrollo del estudio de línea base	Investigación archivística	Analizar la estructura y contenido de mapas de ruta tecnológica de dominio público en el sector energía, para identificar y proponer los lineamientos para la elaboración del estudio de línea base.
		Entrevistas semi-estructuradas	Entrevistar a personas con experiencia en talleres para la elaboración de mapas de ruta tecnológica, para explorar la pertinencia del contenido e importancia de los lineamientos propuestos.
2	Aplicación y evaluación de la pertinencia de los lineamientos para elaborar un estudio de línea base a un caso de estudio	Investigación documental	Elaborar un estudio de línea base para un taller hipotético de elaboración de mapa de ruta tecnológica para la extracción y exploración de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.
		Entrevistas	Entrevistar a expertos en talleres para la elaboración de mapas de ruta tecnológica y en el tema del caso de estudio para evaluar los lineamientos en el estudio de línea base propuesto.

Capítulo Cuatro: Lineamientos para la elaboración de estudios de línea base para el sector energía

Un estudio de línea base o línea base de investigación, como su nombre lo sugiere, es un documento con la información actual mínima de dominio común entre los participantes de los talleres y relacionada con el tema del mapa de ruta tecnológica.

El estudio de línea base se concibe como un documento que cierre las posibles brechas de conocimiento sobre el tema del mapa de ruta tecnológica. También es una fuente confiable y rápida de datos relevantes para guiar y enriquecer la discusión de los talleres colaborativos. Lo anterior se prevé como una mejor práctica a considerarse durante la aplicación del mapeo de ruta tecnológica.

El presente capítulo describe el desarrollo de la identificación del contenido, fuentes y presentación del documento de línea base de investigación, así como la evaluación de dichos elementos y su relevancia según el primer grupo de personas entrevistadas, la cual se presenta a continuación agrupada por tema.

4.1 Referencias

Las referencias a un estudio de línea base para los talleres de mapa de ruta tecnológica son limitadas. Una de las personas entrevistadas mencionó una referencia específica al estudio de línea base. Las otras dos personas señalaron desconocer guías específicas sobre la elaboración del documento denominado línea base, aunque señalaron referencias generales relacionadas con el proceso de mapeo de ruta.

Una referencia directa es el documento propuesto por la Agencia Internacional de Energía denominado "*Energy Technology Roadmaps: a guide to development and implementation*". Ésta bosqueja elementos de elaboración del estudio de línea base. Otra referencia relacionada más no específica es el documento titulado "*How2Guide for Wind Energy Roadmap Development and Implementation*". En ese sentido, existen referencias relacionadas, pero no son para el área de energía ni tampoco son guías particulares para el desarrollo del estudio de línea base.

El uso de estudios de inteligencia tecnológica como documentos auxiliares para los talleres de mapa de ruta tecnológica es comparable a los estudios de línea base. Los libros de "*Technology Intelligence*" proporcionan temas de tecnología y mercado, y métodos de reportaje considerados en una línea base. De manera particular la guía "*Communicating Technology Intelligence*" de la Universidad de Cambridge, aunque no es una guía específica sobre el estudio de línea base.

Aunque se desconocen referencias a guías sobre la elaboración o contenido del estudio de línea base, el enfoque para los talleres colaborativos es consultar estudios de línea base del tema de interés alrededor del mundo. Lo anterior, permite asegurar la captura del contenido más relevante, reciente y últimas actualizaciones, las cuales pueden recopilarse y sintetizarse.

4.2 Relevancia

Las personas que han participado en talleres colaborativos para la elaboración de mapas de ruta tecnológica consideran de manera unánime que el documento de línea base es relevante.

El estudio de línea base es relevante, aunque depende del proceso que se haya seleccionado para desarrollar el mapa de ruta tecnológica. Se identifican tres razones de su relevancia. (1) Ayuda (facilita - soporta) a definir el propósito, alcance y objetivos del MRT. (2) Permite que los participantes de los talleres tengan información para un entendimiento “deseable” (“igual”) y efectivo del estado actual de las áreas de conocimientos considerados como relevantes. Normalmente en aspectos tecnológicos, de mercados y de políticas públicas. (3) Y establece la base del tipo de lenguaje (argot) y definición de conceptos clave que facilita la comunicación de los participantes durante los talleres.

El estudio de línea base es relevante, siempre que sea un estudio concreto y resumido, sin gran profundidad. La experiencia práctica muestra que es un gran esfuerzo identificar las últimas tendencias en tecnología y mercado. No obstante, los expertos pueden cuestionar los reportes de línea base u omitir su consulta al conocer los temas. Por lo que se sugiere disminuir el esfuerzo usando reportes de consultoras internacionales que pudieran existir sobre el tema.

La relevancia del estudio de línea base también dependerá del usuario final. Si bien, la relevancia de la línea base podría ser cuestionable cuando se dirige a los expertos participantes en los talleres; la relevancia es incuestionable para las personas que coordinan el taller de mapa de ruta. Los facilitadores de los talleres necesitan forzosamente consultar el reporte de línea base para conocer el tema y moderar de manera informada las discusiones.

La elaboración de estudios de línea base es importante porque permite obtener la información relevante en el proceso de mapeo de ruta tecnológica. Un taller colaborativo bueno depende de los expertos participantes. La elaboración del estudio de línea base es relevante porque también sienta las bases para identificar a los expertos participantes en los talleres. En el proceso se delinea la estructura

del sector y sus actores, permitiendo identificar a las personas que conocen el tema y podrían aportar información crítica.

4.3 Contenido

Los entrevistados identifican diversos temas a incluir como parte del documento de línea base de investigación. Algunos consideran que depende del tema. No obstante, consideran que los aspectos tecnológicos, políticos y de mercado son esenciales.

El contenido sugerido incluye el alcance, el contexto dentro del alcance del tema objeto de estudio, la justificación, breve mención a la metodología, las fuentes generales consultadas, un resumen de los hallazgos en términos de tendencias tecnológicas y de mercado, los impulsores políticos y sociales, y unas conclusiones. Todo lo anterior de manera general y breve en un reporte de 8 a 10 hojas como máximo.

Los temas propuestos con base en mapas de ruta tecnológica desarrollados son el objetivo, mercado, tecnología, normatividad, industria, gobierno, universidades, institutos de investigación y desarrollo tecnológico, centros de IDTI; así como retos e impulsores de la industria.

El contenido depende del mapa de ruta tecnológica. Por lo que el estudio de línea base debe alinearse a la estructura planeada del mapa de ruta tecnológica. Considerando la metodología de Cambridge de Phaal, Farrukh, & Probert (2013), al menos se deben cubrir las preguntas fundamentales ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Por qué? No obstante, cuando ya se tiene una visión o perspectiva establecida para el mapa de ruta tecnológica, el ¿por qué? en cierta medida estaría definido y no sería necesario abundar.

También se considera relevante incluir las tendencias y/o pronósticos internacionales del tema, análisis de la política nacional e internacional, así como el tema de captura de valor (cuando no son mapas de ruta tecnológica sectoriales).

4.4 Fuente

Los entrevistados identifican las mismas fuentes a incluir como parte del documento de línea base de investigación. Algunos consideran que depende del tema. No obstante, consideran ciertas fuentes esenciales como estudios sobre el tema.

Las fuentes de información incluyen los estudios sobre el tema y las tendencias del sector de agencias y consultoras internacionales como la EIA, Deloitte, Wood Mackenzie y McKenzie. También los planes sectoriales y políticas públicas

relacionadas con el tema a nivel nacional e internacional. Así como las bases de datos científicas y técnicas sobre el tema y tendencias en los aspectos tecnológicos, políticos y de mercado.

Con base en la información de la IEA, las principales fuentes de información para la elaboración de la línea base son tres: (1) consultas con expertos de la industria, academia e independientes; (2) consulta con asociaciones industriales (tecnología y mercado) y representantes del gobierno; así como (3) búsquedas en sitios de vendedores de tecnologías, asociaciones comerciales (mercado) y gubernamentales (política pública).

La literatura política y académica relacionada con pronósticos y perspectivas son otra fuente de información. También los planes y anuncios de investigación y desarrollo de las agencias nacionales e internacionales de ciencia y tecnología. Lo anterior como indicadores reales de las tendencias en los temas de interés. Los estudios que comisionan los gobiernos también son una fuente valiosa de información. En sí, el estudio de línea base debería aprovechar y compilar los resultados de la investigación que ya se ha hecho respecto al tema.

4.5 Presentación

Las personas entrevistadas coinciden en que la presentación del documento de línea base es clave para aprovechar su contenido como elemento de discusión en los talleres colaborativos. Las tres personas consideran que debe ser claro y conciso.

La presentación del reporte de línea base debe ser tal que asegure su consulta y revisión por parte de los expertos. Por lo que es recomendable un documento tipo infografía o video que permita dar un contexto común a todos los participantes. En caso de que necesiten más información se sugiere tener listo un reporte corto en formato de presentación. En todos los casos se sugiere referenciar las fuentes y responsables de su elaboración para tener el soporte ante su cuestionamiento.

El estudio de línea base puede reportarse de manera resumida como una presentación o preferentemente como un documento de algún procesador de texto. En ambos casos se deben indicar claramente las fuentes consultadas e identificar claramente la ubicación de la información usada de cada fuente para la consulta inmediata de los participantes.

La entrega de reportes extensivos no es una estrategia efectiva en los estudios de línea base. Un resumen muy pequeño con datos claves es recomendable. Ésto en formato de presentación de no más de 10 láminas, mientras que en formato reporte

un resumen de una página. No obstante, el perfil de los participantes podría determinar la extensión del documento. En la medida que el compromiso con la iniciativa del mapa de ruta es mayor, la extensión puede aumentar porque se esperaría que los participantes tomen el tiempo para consultarlo.

También es recomendable un pre-llenado del mapa de ruta tecnológica considerando los resultados del estudio de línea base. En los talleres, los participantes discutirían la propuesta de contenido que se despliega en los mapas de ruta tecnológica. En las capas del mapa de ruta donde exista incertidumbre debe hacerse más énfasis.

4.6 Distribución

Las tres personas entrevistadas consideran que el reporte de línea base debe ser enviado con anticipación a los talleres de mapa de ruta tecnológica para que sirva el propósito de ser material de referencia. En todos los casos coinciden que el envío sea de manera digital.

Asimismo, el estudio de línea base se debe distribuir digitalmente junto con todo aquel material previo a los talleres. Es decir, en caso de que exista una solicitud a los participantes para preparar formatos previos al taller, se puede aprovechar en esta solicitud el envío del estudio de línea base.

4.7 Análisis de los diagramas de mapas de ruta tecnológica

El contenido del documento de línea base de investigación se establece mediante una metodología de investigación archivística. Esta parte del análisis de información textual de datos de una fuente secundaria de dominio público. En este caso, los reportes gubernamentales de mapas de ruta tecnológica de energías renovables publicados por la Secretaría de Energía (SENER, 2018b).

El análisis de la arquitectura de los diagramas de mapa de ruta tecnológica es necesario porque los procesos de mapeo de ruta, como el de la Universidad de Cambridge, usan la arquitectura de los mapas para soportar la estrategia de planeación (IfM, 2016). Por ello, es importante que la línea base considere una arquitectura preliminar de mapa de ruta.

La **Tabla 4.1** muestra la identificación de los componentes de cinco diagramas de mapa de ruta tecnológica de energías renovables y cinco de biocombustibles: (1) energía geotérmica (EG); (2) energía termosolar (ETS); energía solar fotovoltaica (ESF); (4) energía eólica terrestre (EOT); (5) energía oceánica (EO); (6) biogás (BG); (7) bioetanol (BE); (8) biodiésel (BD); (9) bioturbosina y (10) biocombustibles sólidos (BCS).

Tabla 4.1 Componentes de los diagramas de mapas de ruta tecnológica de energías renovables publicados por la SENER. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018b).

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	EG	ETS	ESF	EOT	EO	BG	BE	BD	BT	BCS
Perspectiva	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Metas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	✓
Impulsores	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tipo de recursos	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuente de aprovechamiento	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x
Materia prima	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
Acciones estratégicas: retos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Por tipo de recursos	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Por tipo de sector	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x
Por tipo de generación	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x
Por fuente de aprovechamiento	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x
Por cadena de valor	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
Por mercado de generación	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓
Acciones habilitadoras:	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Regulatorias	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Económicas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recursos humanos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
Sociales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
Acciones de soporte	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x

En resumen, la estructura de todos los diagramas de mapa de ruta tecnológica presenta perspectiva, metas, impulsores, acciones estratégicas y acciones habilitadoras.

No obstante, las acciones estratégicas están agrupadas por cuatro criterios para las energías renovables y dos criterios para los biocombustibles.

En las energías renovables, las acciones estratégicas (retos) se agrupan: (1) por el tipo de recurso geotérmico, en baja entalpía, mediana y alta entalpía y no convencionales (geotermia); (2) por el tipo de sector, en industrial y residencial (energía termosolar); (3) por el tipo de generación, en distribuida y centrales fotovoltaicas (solar fotovoltaica) y (4) por las fuentes de aprovechamiento de energía del océano, en gradiente térmico, gradiente salino, oleaje, corrientes marinas y mareomotriz.

En los biocombustibles, los diagramas de mapa de ruta tecnológica presentan las acciones estratégicas (retos) agrupadas por su cadena de valor, con excepción de los biocombustibles sólidos cuya agrupación es por tres mercados de generación: (I) de calor residencia y comercial, (II) industrial y (III) electricidad.

Los diagramas de mapa de ruta tecnológica agrupan las acciones habilitadoras en cuatro ámbitos: (1) regulatorias, (2) económicas, (3) recursos humanos y (4) sociales. Todos los diagramas presentan acciones habilitadoras en los cuatro ámbitos, excepto el biodiésel y los biocombustibles sólidos. Éstos no presentan acciones habilitadoras en los ámbitos de recursos humanos y sociales, respectivamente.

Los diagramas de mapa de ruta tecnológica tienen sus respectivos reportes. Dichos reportes de mapa de ruta tecnológica presentan una descripción más clara y detallada de la estructura y contenido establecido en los diagramas. Los reportes presentan para cada uno de los retos prioritarios las acciones sugeridas, el periodo de atención y los participantes clave. Por su parte, las acciones habilitadoras señalan la barrera asociada, los principales actores involucrados y el tiempo estimado para su solución.

Si bien los reportes refieren cinco ámbitos en las acciones habilitadoras: (1) regulatorias, (2) económicas, (3) recursos humanos, (4) sociales y (5) ambientales; las acciones habilitadoras orientadas a eliminar o reducir las barreras identificadas en el ámbito ambiental no se reflejaron en los diagramas dada la naturaleza limpia de las energías renovables y biocombustibles.

4.8 Identificación de los componentes básicos

La **Figura 4.1** muestra la arquitectura general de los diagramas de mapas de ruta tecnológica de energías renovables (SENER, 2018b).

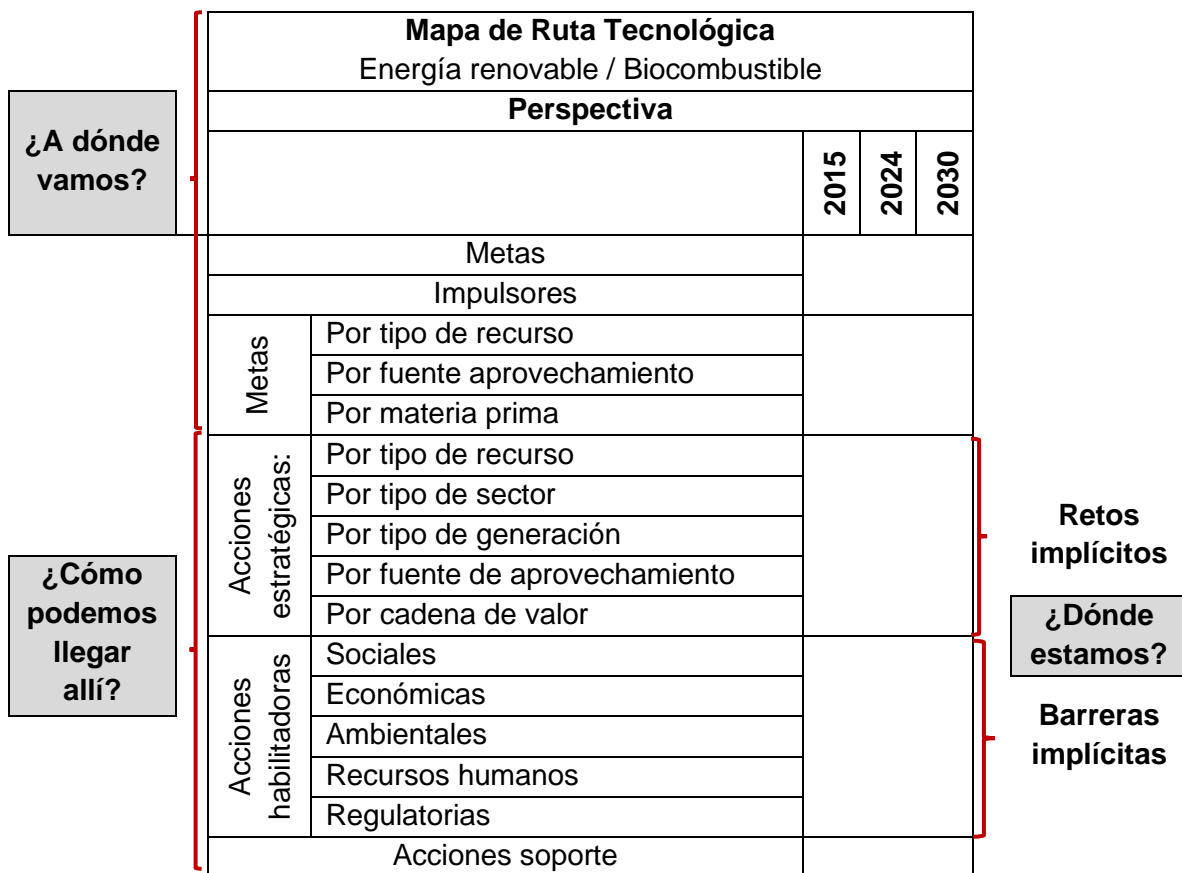


Figura 4.1 Arquitectura genérica y componentes de los mapas de ruta tecnológica en energías renovables. Fuente: elaboración propia con información de SENER (2018b).

El análisis de los diagramas de mapas de ruta tecnológica de energías renovables permite identificar tres secciones generales conforme a la metodología de Cambridge: (1) la visión, misión, objetivos, metas, o propósitos; (2) el estado presente de la tecnología, mercado, o producto; y (3) las medidas de política, planes de acción, programas I&D, o estrategias de corto a largo plazo. Precisamente, las tres secciones responden a las preguntas ¿a dónde vamos?, ¿dónde estamos?, y ¿cómo podemos llegar allí? (Robert Phaal, 2000).

Por ello, los presentes lineamientos para generar el documento de línea base de investigación propone considerar como punto de partida esta estructura básica general del mapa de ruta tecnológica. Por lo que el documento deberá contener información básica como referencia para contestar las preguntas ¿a dónde vamos? y ¿dónde estamos?; las cuáles conllevan a responder ¿cómo podemos llegar allí?

Por lo tanto, la línea base debe contener datos e información básica que fomente y sustente la discusión de estas preguntas entre los participantes del taller, las cuales están implícitas en los componentes del mapa de ruta tecnológica.

4.9 Establecimiento del contenido de la línea base de investigación

La **Figura 4.2** presenta una descripción de los componentes identificados en los diagramas y los reportes de los mapas de ruta tecnológica en energías renovables (SENER, 2018b). Dichos componentes se asocian con una propuesta temática del contenido del estudio de línea base.

En principio, el contenido propuesto es el mínimo que permitiría informar la discusión para responder las tres preguntas globales ¿a dónde vamos?, ¿dónde estamos?, y ¿cómo podemos llegar allí? De esta manera se logran definir los componentes de manera colaborativa en los talleres de mapa de ruta.

Componente	Contenido estudio de línea base
<p>Perspectiva Punto de vista particular sobre el tema. El eje alrededor del cual gravitarán las opiniones y demás información que se recopile para elaborar el mapa de ruta.</p>	<p style="text-align: center;">1. ¿A dónde vamos?</p> <p>Introducción</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generalidades • Características relevantes <p>Fundamentos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marco legal y normativo • Referencias nacionales e internacionales <p>Conclusión: identificar perspectiva, metas e impulsores</p>
<p>Metas Fin al que se dirigen las acciones. Deben ser específicas, mensurables, alcanzables y temporizadas según la teoría de establecimiento de metas (SMART, por su acrónimo en inglés) (Doran, 1981).</p>	
<p>Impulsores Razones que incitan o estimulan la perspectiva y el cumplimiento de las metas.</p>	
<p>Retos Desde el punto de vista de los mapas de ruta tecnológica en energías renovables, son hechos de carácter primordialmente tecnológico que desafían la implementación de la perspectiva y metas.</p>	<p style="text-align: center;">2. ¿Dónde estamos?</p> <p>Diagnósticos de la situación actual:</p> <p>Diagnóstico político</p> <ul style="list-style-type: none"> • Política interna • Política externa <p>Diagnóstico del mercado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado de recursos / materia prima • Análisis de oferta y demanda • Capacidades productivas
<p>Barreras</p>	

Componente	Contenido estudio de línea base
Situaciones de carácter económico, ambiental, social, regulatorio y de recursos humanos que obstaculizan la implementación de la perspectiva y metas.	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos / Tecnología asociada • Costos asociados <p>Diagnóstico de la cadena de valor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descripción de sus eslabones • Actores asociados <p>Conclusión: identificar retos y barreras</p>
Acciones estratégicas: retos Resultado o efecto que se lleva a cabo para afrontar los retos	3. ¿Cómo podemos llegar allí?
Acciones habilitadoras: barreras Resultado o efecto que se lleva a cabo para superar las barreras	
Responsable Sujeto que tiene a cargo llevar a cabo acciones estratégicas o habilitadoras	

Figura 4.2 Descripción de los componentes del mapa de Ruta Tecnológica.
Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018b).

Los retos y barreras no se presentan explícitamente en los diagramas, pero sí en los reportes, en dónde se puede apreciar explícitamente su relación con las acciones estratégicas y habilitadoras mostradas en los diagramas de mapa de ruta tecnológica de energías renovables (**Figura 4.1**).

Por ello, los retos y barreras se incluyen como componentes, y están asociados con la pregunta ¿dónde estamos? A su vez, la identificación de retos y barreras mediante el diagnóstico de la situación actual permite identificar las acciones estratégicas y habilitadoras, así como responsables. Con lo anterior, se responde la pregunta ¿cómo podemos llegar allí?

Si bien los diagramas tampoco presentan a los responsables, los reportes de mapa de ruta tecnológica en energías renovables si los identifican explícitamente tanto para las acciones estratégicas como acciones habilitadoras que se presentan en los diagramas de mapa de ruta tecnológica.

En particular, los responsables, al igual que las acciones estratégicas y habilitadoras se identifican durante las discusiones realizadas en los talleres de mapa de ruta tecnológica. Dicha identificación se sustenta en la información provista por la perspectiva, metas, impulsores; así como los retos y las barreras.

Por lo anterior, el contenido propuesto de la línea base de investigación se puede agrupar en torno a dos preguntas básicas: ¿a dónde vamos? y ¿dónde estamos?

¿A dónde vamos?

La **Figura 4.3** presenta la descripción detallada de la propuesta de contenido del estudio de línea base y las sugerencias de las fuentes de información en torno a la pregunta ¿a dónde vamos?

Contenido línea base de investigación		Fuentes de información
1. ¿A dónde vamos?	<p>Introducción Parte inicial del documento con la información básica del tema del mapa de ruta tecnológica. Las secciones mínimas que la integran son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generalidades: principios o conocimientos generales relativos al tema. • Características relevantes: cualidades que determinan los rasgos del tema y lo distinguen de los demás. 	<ul style="list-style-type: none"> • Libros especializados • Revistas arbitradas • Reportes gubernamentales
	<p>Fundamentos Parte del documento con la información normativa y cuantitativa que fundamenta el establecimiento de la perspectiva, metas e impulsores del mapa de ruta. Las secciones que la integran son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marco legal y normativo: conjunto de normas con carácter general y específico que fundamentan el actuar y los datos numéricos respecto al tema. • Referencias nacionales e internacionales: conjunto de datos, principalmente cuantitativos, que sirven de base para una comparación y establecimiento preliminar de las metas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Leyes • Reglamentos de leyes • Planes nacionales • Planes sectoriales • Reportes y estudios gubernamentales <p>En principio, considerar fuentes con datos cuantitativos de carácter nacional y como referencias los de carácter internacional</p>
	<p>Conclusión: perspectivas, metas e impulsores Resolución final tras el análisis de las secciones previas, resume la identificación y propuesta preliminar de la perspectiva, metas e impulsores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sección generalidades • Sección fundamentos

Figura 4.3 Descripción y fuentes del contenido de la línea base de investigación para la pregunta ¿a dónde vamos? Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la información básica para responder la pregunta ¿a dónde vamos? requiere las generalidades y características relevantes del tema; así como el marco normativo y referencias nacionales e internacionales del tema. La conclusión es la identificación preliminar de la perspectiva, metas e impulsores.

La introducción considera como fuentes de información libros especializados y revistas arbitradas sobre energía como son: *Energy Journal*, *Energy Technology*, *Applied Energy*, *Renewable Energy*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Journal of Power and Energy Engineering*, *International Journal of Energy for a Clean Environment*, *International Journal of Green Energy*, *International Journal of Ambient Energy*, *Journal of Energy Resources Technology*, *International Journal of Power and Energy Systems*, *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, entre otras.

En México, las fuentes de información de la sección “fundamentos” incluye el marco legal y normativo nacional en materia de energía que permitan establecer las metas relacionadas al tema del mapa de ruta, como son: Ley de Hidrocarburos, Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos, Ley de Petróleos Mexicanos, Ley de la Industria Eléctrica, Ley de la Comisión Federal de Electricidad, Ley de Transición Energética, Ley de Energía Geotérmica, Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear, Ley General de Cambio Climático, Ley para la Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, y en su caso sus respectivos reglamentos.

Las fuentes de información también incluyen los documentos gubernamentales propios de cada administración como el Plan Nacional de Desarrollo y particularmente el Programa Sectorial de Energía como documento de planeación que integra objetivos y estrategias prioritarios con acciones puntuales que conducirá la Secretaría de Energía (SENER).

En caso de que estos documentos carezcan de metas explícitas, se sugieren fuentes de información de carácter internacional para obtener datos de referencia a fin de que los participantes puedan establecer la(s) meta(s). Las fuentes recomendadas son la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020), la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2020) y la Administración de Información Energética de los Estados Unidos (EIA, 2020a).

¿Dónde estamos?

La **Figura 4.4** presenta la descripción detallada de la propuesta de contenido de la línea base de investigación y las sugerencias de las fuentes de información en torno a la pregunta ¿a dónde vamos?

Contenido línea base de investigación		Fuentes de información
2. ¿Dónde estamos?	<p>Diagnóstico de la situación actual: política Parte del documento que recoge y analiza datos políticos (orientaciones o directrices que rigen la actuación de una entidad) en el tema del mapa de ruta tecnológica, para evaluar problemas de diversa naturaleza que se traducen en retos y barreras. Considera al menos los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Política interna • Política externa 	<ul style="list-style-type: none"> • Planes nacionales • Planes sectoriales • Reportes gubernamentales
	<p>Diagnóstico de la situación actual: mercado Parte del documento que recoge y analiza datos del mercado relacionados con el tema del mapa de ruta tecnológica, para evaluar problemas de diversa naturaleza que se traducen en retos y barreras. Considera al menos los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado de recursos / materia prima • Análisis de oferta y demanda • Capacidades productivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Prospectivas • Reportes y estudios • Sistemas de información energética • Inventarios y bases de datos • Sitios web de proveedores y asociaciones
	<p>Diagnóstico de la situación actual: tecnología Parte del documento que recoge y analiza datos tecnológicos relacionados con el tema del mapa de ruta tecnológica, para evaluar problemas de diversa naturaleza que se traducen en retos y barreras. Considera al menos los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procesos / Tecnología asociada • Costos asociados 	<ul style="list-style-type: none"> • Libros especializados • Revistas arbitradas • Sitios web de proveedores
	<p>Diagnóstico de la situación actual: cadena de valor Parte del documento que recoge y analiza datos de las actividades relacionadas con el tema del mapa de ruta tecnológica, para evaluar problemas de diversa naturaleza que se traducen en retos y barreras. Considera al menos los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descripción de sus eslabones • Actores asociados 	<ul style="list-style-type: none"> • Revistas arbitradas • Sitios web de proveedores, asociaciones, organizaciones
	<p>Conclusión: retos y barreras Resolución final tras los diagnósticos previos, resume la identificación y propuesta preliminar de retos y barreras</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secciones de diagnósticos

Figura 4.4 Descripción y fuentes del contenido de la línea base de investigación para la pregunta ¿dónde estamos? Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la información básica para responder la pregunta ¿dónde estamos? requiere al menos un diagnóstico de la situación actual en cuatro aspectos: política, mercado, tecnología y cadena de valor. El diagnóstico concluye con la identificación preliminar de retos y barreras.

La fuente de información principal para el diagnóstico político en México es el plan nacional de desarrollo, el instrumento de planeación más importante del gobierno federal que establece los objetivos, estrategias y prioridades de la administración pública federal en curso (DOF, 1983).

Una fuente de información particular para el diagnóstico político en temas energéticos es el programa sectorial de energía que deriva del plan nacional de desarrollo. El programa 2020-2024 es “*el instrumento rector de planeación que integra objetivos y estrategias prioritarios con acciones puntuales que conducirá la SENER como cabeza de sector*” (DOF, 2020)

Ambos documentos reflejan la perspectiva de la administración en curso, por lo que son temporales. En principio, ambos documentos deben estar alineados a la legislación vigente. De lo contrario, el plan y el programa carecerían del soporte necesario para su efectiva implementación al posiblemente contradecir legislación vigente.

Las fuentes de información para el diagnóstico del mercado son prospectivas gubernamentales con información confiable de la situación actual del mercado energético como las Prospectivas del Sector Energético de la Secretaría de Energía (SENER, 2018d).

Dentro de los reportes y estudios se encuentra el Reporte de Avances de Energías Limpias en la Matriz Energética (SENER, 2018e) y el Balance Nacional de Energía (SENER, 2018f), ambos de la Secretaría de Energía.

Los sistemas de información son fuentes relevantes con datos históricos y series estadísticas de interés para el sector energético como lo son el Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER, 2020a) y el Sistema de Información de Hidrocarburos (SIH) del Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH, 2020a).

También destacan el Sistema de Información de Transición Energética (SITE) de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2018) y el Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL, 2018)

Dentro de las bases de datos, inventarios y mapas interactivos se encuentran la Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE) de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2020); el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL) (SENER, 2018g) y el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL) (SENER, 2018h) ambos de la Secretaría de Energía.

El diagnóstico tecnológico y el diagnóstico de la cadena de valor considera como principales fuentes de información también los libros especializados y las revistas arbitradas sobre energía como son: *Energy Journal*, *Energy Technology*, *Applied Energy*, *Renewable Energy* y el resto referenciadas anteriormente.

Adicionalmente, el diagnóstico tecnológico y el diagnóstico de cadena de valor consideran como fuentes de información los sitios web de asociaciones y sociedades nacionales e internacionales, las cuáles proporciona valiosas publicaciones periódicas, infográficos, seminarios web y conferencias relacionadas con el tema del mapa de ruta tecnológica.

Entre las asociaciones y organizaciones nacionales están la Asociación Mexicana de Energía (AME, 2020), la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE, 2018), la Asociación Mexicana de Energía Solar, (ASOLMEX, 2018), la Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO, 2020), la Asociación Mexicana de Empresas de Hidrocarburos (AMEXHI, 2020), la Asociación de Ingenieros Petroleros de México (AIPM, 2020) y el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQU, 2020).

Entre las Sociedades internacionales destacan la Sociedad de Ingenieros Petroleros (SPE, 2020), la Asociación Mundial de Energías Renovables (WoREA, 2020), la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES, 2020), Energía Oceánica de Europa (OEE, 2020), Asociación Internacional de Geotermia (IGA, 2020), Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA, 2020) y la Asociación Mundial de Bioenergía (WBA, 2020).

Cuando el tema del mapa de ruta tecnológica es relativamente nuevo dentro de un país, se sugieren referencias internacionales como las publicaciones, estudios y sistemas de información de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020), la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2020) y la Administración de Información Energética de los Estados Unidos (EIA, 2020a).

También publicaciones destacadas como la Revisión Anual de la Energía Mundial de *British Petroleum* (BP, 2020), el Boletín Estadístico Anual de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC, 2020) y el sistema de Información Geo-

Referenciada de Energías Renovables para América Latina y el Caribe de la Organización de Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (UNIDO, 2020).

Aunque no hay una buena forma universalmente aceptada de presentar información técnica, existen muchas vertientes útiles de investigación empírica que tratan diversos aspectos de la misma. Wright (1977) conjuntó varias de estas vertientes y presentó lineamientos empíricos para presentar información técnica.

La primera decisión es entre formatos con y sin prosa. La evidencia técnica tiende a favorecer esta última cuando el tema es complejo. Los formatos sin prosa aumentan la habilidad del lector para usar la información que se presenta. Sin embargo, las estructuras simplificadas en prosa pueden ser fáciles de recordar a diferencia de tablas y diagramas de flujo (Wright, 1977).

La facilidad del uso es un criterio apropiado para presentar información técnica. Los títulos, resúmenes y preguntas pueden usarse para asistir a los lectores con el objetivo particular de usar el material para referencia (Wright, 1977).

La información técnica involucra a menudo numerosos factores que están interrelacionados. La expresión de estas interdependencias en prosa puede ser confuso. La investigación ha mostrado que cuando los lectores saben cuáles son los parámetros críticos, éstos seleccionarán más rápidamente aquél que cumple ciertas restricciones al consultar una tabla que al leer en prosa (Wright & Reid, 1973).

Por otra parte, Wright (1977) señala que cuando se busca transmitir una perspectiva general, puede ser útil describirla en diagrama de flujo. La ventaja de los diagramas de flujo y las tablas sobre los formatos en prosa es evidenciar las razones subyacentes a las varias opciones y resultados asociados.

La tabulación con números puede presentar como limitante el no proporcionar alguna idea clara de las tendencias generales subyacentes a las cantidades que se relacionan. En esos casos, las gráficas son más apropiadas que las tablas. Las ilustraciones son también una forma conveniente para complementar descripciones verbales y expresar clara y directamente las ideas (Wright, 1977).

Los aspectos de sintaxis de una oración también son factores importantes en la comprensión del lector. Estudios de psicolingüistas sugieren que las personas entienden más rápidamente oraciones simples, activas y afirmativas (Wright, 1977).

Wright (1977) concluye que, aunque no hay un único “mejor” formato de presentación y la literatura es incompleta en muchos aspectos, hay varios estudios que demuestran las ventajas de formatos particulares de presentación en circunstancias específicas. En sí, la redacción técnica que lleva a una lectura fácil comienza con la valoración del contexto y la sensibilidad a los requerimientos de los diferentes tipos de lector (audiencia).

La definición de la audiencia es un aspecto importante para proveer información técnica útil para los lectores. La **Figura 4.5** esquematiza el método sistemático para definir la audiencia mediante cuatro pasos (Sides, 1999).

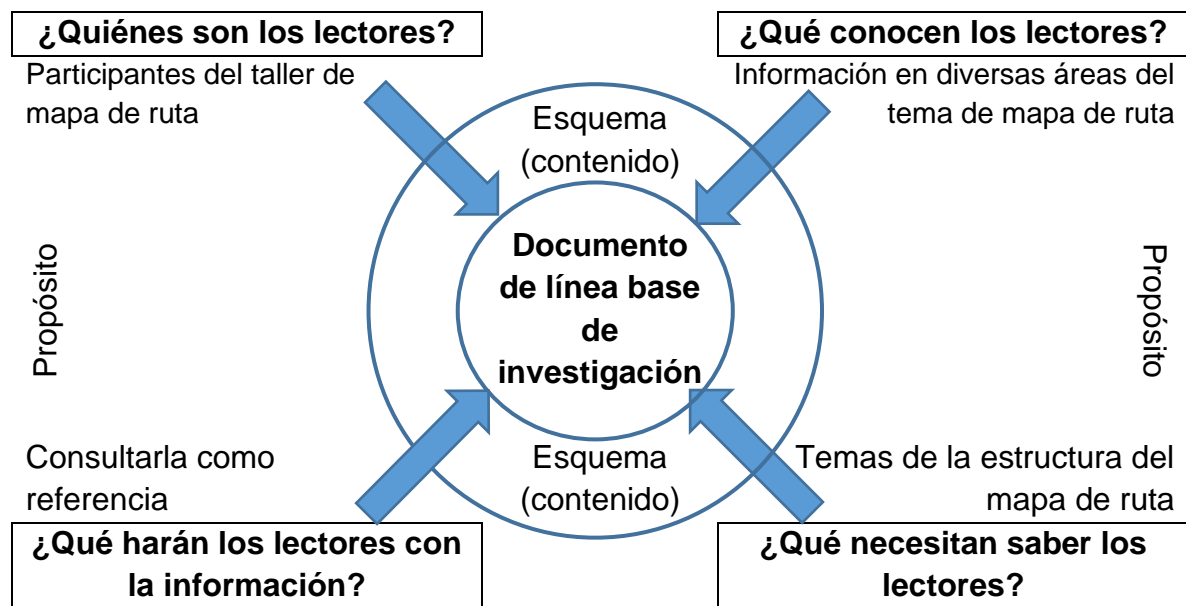


Figura 4.5 Sistema de definición de la audiencia aplicado a la elaboración del documento de línea base de investigación. Fuente: Elaboración propia con información de Sides (1999).

Los lineamientos para elaborar el estudio de línea base para el mapeo de ruta tecnológica en el sector energía deben tomar en cuenta la audiencia al definir (1) quiénes son los lectores, (2) qué conocen; (3) qué necesitan conocer y (4) qué harán con la información (Sides, 1999).

En resumen, se propone que el formato del estudio de línea base sea un reporte escrito que contenga de manera breve, resumida y visualmente atractiva los elementos mínimos que permitan a los participantes contar con una plataforma pareja y actualizada de discusión sobre el tema.

En ese sentido, también se proponen y evalúan los formatos de infografía y presentación. No obstante, ambos formatos se presentan de manera no exhaustiva y sólo con fines ilustrativos en el **Anexo C** y **Anexo D**.

En resumen, la propuesta del contenido de un estudio de línea base para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica en el sector energético es el siguiente:

1. Introducción
 - Generalidades
 - Características relevantes
2. Fundamentos
 - Marco legal y normativo
 - Referencias nacionales
 - Referencias internacionales:
3. Conclusión: perspectiva, metas e impulsores
4. Diagnóstico de la situación actual
 - Política
 - Mercado
 - Tecnología
 - Cadena de valor
5. Conclusión: retos y barreras

Las fuentes de información para desarrollar el contenido del estudio de línea base para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica en el sector energético se detallaron previamente, pero en general se sugieren las siguientes:

- Leyes, planes nacionales, sectoriales y reportes gubernamentales
- Prospectivas, reportes y estudios
- Sistemas de información energética, inventarios y bases de datos
- Sitios web de proveedores, asociaciones y organizaciones
- Libros especializados y revistas arbitradas
- Sitios web de proveedores, asociaciones, organizaciones

La presentación del estudio de línea base se sugiere en formato de reporte escrito principalmente con tablas, figuras y diagramas y una estructura simplificada de prosa con oraciones simples, activas y afirmativas, con las siguientes características en la información:

- Clara
- Concisa
- Relevante
- Visualmente atractiva

4.10 Reflexiones finales

En la identificación y evaluación de los lineamientos para elaborar el estudio de línea base emergieron algunas sugerencias. Primero, se sugiere revisar el uso del término “línea base”. Aunque la connotación del término se aplica y entiende en el contexto de la planeación de los talleres de mapa de ruta tecnológica, éste podría causar confusión por su uso en el contexto de administración de proyectos. Por lo que sugiere evaluar la procedencia de un término más apropiado.

También se sugiere que los reportes de línea base deben indicar explícitamente el nivel de certidumbre que se tiene respecto a cada uno de los temas que se presentan. En caso de que existan suposiciones, enfatizarlo para evitar alguna predisposición entre los participantes. También se sugiere que los estudios sean breves, informativos y visuales, incluyendo resúmenes ejecutivos para cada una de las secciones.

Por último, se sugiere cuidar que el reporte no sea muy extenso. Asimismo, que el reporte debe estar estructurado con secciones de información bien definidas y con citas bibliográficas que permita a los participantes poder acceder a la información original, si así lo desean.

El siguiente capítulo presenta la aplicación de los lineamientos. Es decir, muestra un ejemplo práctico de elaboración de estudio de línea base. Éste compete al caso hipotético de un taller de mapa de ruta tecnológica sobre exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México

Capítulo Cinco: Aplicación a un caso: Estudio de línea base para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México

Los lineamientos descritos en el capítulo cuatro se aplican a un caso de estudio particular. Éste corresponde a la elaboración de un estudio de línea base de un taller hipotético de mapa de ruta tecnológica sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

En este capítulo se presenta el estudio de línea base elaborado bajo los lineamientos propuestos. El estudio de línea base se presenta en un formato de reporte extensivo. No obstante, se proponen otros formatos de estudio de línea base de manera ilustrativa y no exhaustiva: (1) infografía (**Anexo C**); (2) presentación (**Anexo D**) y (3) Reporte Ejecutivo (**Anexo E**).

A continuación, el contenido del estudio de línea base se desglosa para pronta evaluación y referencia. El contenido temático mínimo propuesto se indica en “negritas” y se resalta. En ese sentido, también se incluyen los temas en los que a su vez se despliega y subdivide el contenido temático mínimo para el caso de estudio.

La subdivisión del contenido temático mínimo con subtítulos es apropiada para agrupar la información en secciones breves. Asimismo, es eficiente para desarrollar el tema con una secuencia lógica y con la mayor claridad posible. También es práctico para consultar con facilidad secciones de interés del tema del mapa de ruta tecnológica.

1	Introducción	50
	Generalidades	50
2	Fundamentos	52
	Marco legal y normativo	52
	Reforma Energética de 2013	52
	Preceptos constitucionales	53
	Leyes	54
	Reglamentos	56
	Códigos, lineamientos, manuales, acuerdos y otras disposiciones	57
	Planes y programas de la administración 2019-2024	58
	Referencias nacionales	60
	Provincias petroleras en México	60
	Recursos de hidrocarburos en México	61
	Provincias petroleras con recursos no convencionales	62
	Reservas y volumen remanentes en áreas terrestres no convencionales	64

	Potencial recursos no convencionales en México	64
	Prospección en áreas terrestres no convencionales	65
	Producción de hidrocarburos en áreas terrestres no convencionales	66
	Pronósticos de producción de recursos no convencionales	66
	Referencias internacionales	67
	Provincias petroleras y potencial de recursos	67
	Producción de gas natural de lutitas	68
	Producción de gas natural	70
3	Conclusión: perspectivas, metas e impulsores	71
	Perspectivas	71
	Metas	72
	Impulsores	72
4	Diagnóstico de la situación actual	73
	Diagnóstico político	73
	Política nacional	73
	<i>Plan Quinquenal 2020-2024</i>	73
	<i>Plan Quinquenal 2020-2024: recursos no convencionales</i>	74
	<i>Conclusión: política interna</i>	77
	Política internacional	77
	<i>Transición energética</i>	78
	<i>Acuerdo de París</i>	78
	<i>Países con moratorias y prohibiciones de fractura hidráulica</i>	79
	<i>Conclusión: política externa</i>	82
	Diagnóstico del mercado	82
	Mercado de gas natural	82
	Oferta y demanda de gas natural en México	84
	Precios del gas natural en México	86
	Precios del gas natural: referencias internacionales	90
	Diagnóstico de la tecnología	91
	Tecnologías de exploración	93
	Tecnologías de perforación	94
	Tecnologías de estimulación	95
	Aspectos tecnológicos de la producción de gas de lutitas	96
	<i>Construcción del pozo</i>	97
	<i>Fractura hidráulica: profundidad</i>	98
	<i>Compuestos químicos</i>	99
	<i>Reciclaje de agua, reuso y disposición</i>	101
	Tecnologías de exploración y extracción: costos	101

	Alternativas tecnológicas: uso de agua	103
	Diagnóstico de la cadena de valor	104
	Exploración	104
	<i>Participantes y actividades</i>	105
	Extracción	111
	<i>Participantes y actividades</i>	111
	Procesamiento	118
	<i>Participantes y actividades</i>	119
	Logística	120
	<i>Participantes y actividades</i>	121
	Comercialización	126
	<i>Participantes y actividades</i>	126
5	Conclusión: retos y barreras	127
	Estándares y mejores prácticas para el desarrollo de gas y aceite de lutitas	133
	Propuestas para el desarrollo de la industria nacional.	134

A continuación, se presenta el estudio de línea base para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

5.1 Introducción

La exploración y extracción de hidrocarburos de yacimientos no convencionales requieren una estrategia para su desarrollo en México. Los mapas de ruta tecnológica son una herramienta de planeación útil para presentar dicha estrategia.

Los mapas de ruta tecnológica basados en el enfoque de talleres colaborativos son los más efectivos y completos porque integran la opinión de diversos expertos y partes interesadas. Lo anterior se realiza comúnmente a través de talleres con actividades y discusiones orientadas.

El presente capítulo compila investigación relevante y representa el punto de partida para guiar un taller colaborativo que permita la elaboración del mapa de ruta tecnológica sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México, por lo que se denomina estudio de línea base.

5.1.1 Generalidades

Los recursos no convencionales se refieren al petróleo y gas contenido en rocas, cuya porosidad, permeabilidad y otras características difieren de rocas de yacimientos convencionales de arenisca y carbonato (Schlumberger, 2020). Se

consideran recursos no convencionales: los hidratos de gas, el petróleo pesado, el gas y petróleo de lutitas y el petróleo de areniscas compactas (Ma, 2016).

En particular, el gas de lutitas (*shale gas*) es gas natural atrapado en rocas llamadas lutitas que se caracterizan por una baja permeabilidad. Por ello, la técnica de fractura hidráulica o *fracking* se usa comúnmente para crear canales y liberar el gas o petróleo atrapado en la roca (Zendehboudi & Bahadori, 2017).

La **Figura 5.1** esquematiza las diferencias entre yacimientos convencionales y no convencionales.



Figura 5.1. Diferencias entre yacimientos convencionales y no convencionales. Fuente: elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2017).

En el yacimiento no convencional de lutitas, la roca generadora de gas y petróleo es parte del mismo yacimiento, mientras que en los yacimientos convencionales el gas y petróleo migró de la roca generadora hacia la roca natural de almacenamiento, como la arenisca o caliza (Zendehboudi & Bahadori, 2017).

Los recursos no convencionales requieren técnicas especiales de extracción y, por tanto, podrían demandar más inversión en comparación con los convencionales. A pesar de ello, tanto los yacimientos no convencionales como los convencionales usan fractura hidráulica, aunque con ciertas diferencias (**Tabla 5.1**).

Tabla 5.1 Diferencias en el uso de la fractura hidráulica en yacimientos convencionales y no convencionales. Fuente: elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2017).

Diferencias	Yacimientos Convencionales	Yacimientos No convencionales
Propósito:	Técnica de estimulación o reparación	Técnica de producción probada
Alcance:	Tratamientos pequeños en pozos verticales	Tratamientos masivos en pozos horizontales
Particularidad:	Menos perforación y más productividad	Perforación intensiva para mantener producción

5.2 Fundamentos

5.2.1 Marco legal y normativo

México tiene legislación en materia de exploración y extracción de hidrocarburos compuesta por preceptos constitucionales, leyes y reglamentos; así como normativa de menor jerarquía funcional con contenido más operativo y específico como códigos, lineamientos, manuales, acuerdos y otras disposiciones (CNH, 2020).

5.2.1.1 Reforma Energética de 2013

El marco normativo actual surgió con la Reforma Energética que ocurrió el 20 de diciembre de 2013 con la publicación del Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de energía (DOF, 2013a).

La implementación de la Reforma Energética a nivel de legislación federal ocurrió el 11 de agosto de 2014, mediante la publicación de 21 leyes secundarias, de las cuales 12 son leyes que se reforman y 9 son leyes nuevas.

La **Tabla 5.2** resume los cambios legislativos que implicó la Reforma Energética.

Tabla 5.2. Reforma Energética: cambios legislativos. Fuente: elaboración propia con información de SER (2016).

3 cambios constitucionales		
Artículo 25	Artículo 27	Artículo 28
Reforma párrafos cuarto, sexto y octavo; adiciona un párrafo séptimo	Reforma párrafo sexto, adiciona un párrafo octavo	Reforma párrafo cuarto y sexto
21 leyes secundarias		

9 leyes nuevas	12 leyes reformadas
1. Ley de Hidrocarburos	1. Ley de Inversión Extranjera
2. Ley de la Industria Eléctrica	2. Ley Minera
3. Ley de Energía Geotérmica	3. Ley Federal de Derechos
4. Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos	4. Ley de Aguas Nacionales
5. Ley de Petróleos Mexicanos	5. Ley General de Deuda Pública
6. Ley de Comisión Federal de Electricidad	6. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal
7. Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética	7. Ley Federal de las Entidades Paraestatales
8. Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo	8. Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas
9. Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos	9. Ley de Adquisición, Arrendamientos y Servicios del Sector Público
	10. Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria
	11. Ley de Asociaciones Público-Privadas
	12. Ley de Coordinación Fiscal

5.2.1.2 Preceptos constitucionales

La **Tabla 5.3** indica los preceptos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) en materia de exploración y extracción de hidrocarburos.

Tabla 5.3 Preceptos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) en materia de exploración y extracción de hidrocarburos. Fuente: elaboración propia con información de DOF (1917).

Legislación	Tema	Descripción
Artículo 25, párrafo quinto de la CPEUM	Exploración y extracción de hidrocarburos como áreas estratégicas y términos en que se realizarán	El sector público tendrá a su cargo, de manera exclusiva, las áreas estratégicas que se señalan en el artículo 28, párrafo cuarto de la CPEUM. La Nación realizará la exploración y extracción de hidrocarburos, en términos de lo dispuesto en el artículo 27, párrafo séptimo de la CPEUM.
Artículo 27, párrafo séptimo de la CPEUM	Propiedad de hidrocarburos y sus actividades de exploración y	Los hidrocarburos en el subsuelo son propiedad de la Nación, inalienable e imprescriptible y no se otorgarán concesiones.

Legislación	Tema	Descripción
	extracción mediante asignaciones y contratos	La Nación realizará las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos mediante asignaciones a empresas productivas del Estado o contratos con éstas o con particulares en términos de la ley reglamentaria.
Artículo 28, párrafo cuarto, sexto y octavo de la CPEUM	Exploración y extracción como áreas estratégicas no son monopolios. Creación del FMPED. CNH como órgano regulador coordinado	Las funciones que el Estado establece de manera exclusiva en áreas estratégicas no son monopolios, incluyendo la exploración y extracción de hidrocarburos en términos del artículo 27, párrafo séptimo de la CPEUM. Establecer al Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (FMPED). Contar con órganos reguladores coordinados en materia energética, que incluye a la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH).

5.2.1.3 Leyes

La **Tabla 5.4** presenta las leyes que desarrollan los preceptos de la CPEUM en materia de exploración y extracción de hidrocarburos.

Tabla 5.4 Leyes en materia de exploración y extracción de hidrocarburos en México. Fuente: elaboración propia.

Legislación	Tema	Descripción
Ley de Hidrocarburos	Regular exploración y extracción de hidrocarburos, entre otras actividades	Regular entre otras actividades en territorio nacional: el reconocimiento y exploración superficial, y la exploración y extracción de hidrocarburos (DOF, 2016b).
Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos	Régimen de ingresos por la exploración y extracción	Establecer el régimen de ingresos que recibe el Estado por las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos realizadas a través de asignaciones y contratos (DOF, 2014a).
Ley de Petróleos Mexicanos	Regular diversos aspectos de Pemex	Regular la organización, administración, funcionamiento, operación, control, evaluación y rendición de cuentas de Pemex, y establecer su régimen especial en diversas materias (DOF, 2014b).

Legislación	Tema	Descripción
Ley del Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética	Regular a la CNH y la CRE	Regular la organización y funcionamiento de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética y establecer sus competencias (DOF, 2014c).
Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo	Regular al FMPED	Establecer normas para la constitución y operación del FMPED, el cual tendrá como fin recibir, administrar, invertir y distribuir los ingresos de asignaciones y contratos a que se refiere el párrafo séptimo del artículo 27 de la Constitución, con excepción de los impuestos (DOF, 2014d).
Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos	Crear la ASEA y establecer su objeto	Crear la ASEA y establecer como su objeto la protección de las personas, el medio ambiente y las instalaciones del sector hidrocarburos a través de la regulación y supervisión de seguridad industrial y seguridad operativa; las actividades de desmantelamiento y abandono de instalaciones y el control integral de los residuos y emisiones contaminantes (DOF, 2014e).

La **Tabla 5.5** presenta el resto de las leyes relacionadas de manera general con diversos aspectos del sector hidrocarburos.

Tabla 5.5. Leyes relacionadas con el sector hidrocarburos en México.

Fuente: elaboración propia.

No.	Ley	Fuente
1	Ley de Navegación y Comercio Marítimos	(DOF, 2006a)
2	Ley General de Títulos y Operaciones de Crédito	(DOF, 1932)
3	Ley Federal del Procedimiento Administrativo	(DOF, 1994)
4	Ley de Amparo	(DOF, 2013b)
5	Ley Federal de Competencia Económica	(DOF, 2014f)
6	Ley General de Responsabilidades Administrativas	(DOF, 2016c)
7	Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública	(DOF, 2015a)

8	Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública	(DOF, 2016d)
9	Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados	(DOF, 2017)
10	Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria	(DOF, 2006b)
11	Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2020	(DOF, 2019a)
12	Ley Federal sobre Metrología y Normalización	(DOF, 1992)
13	Ley General de Archivos	(DOF, 2018b)
14	Ley de Tesorería de la Federación	(DOF, 2015b)
15	Ley General de Bienes Nacionales	(DOF, 2004)
16	Ley General de Contabilidad Gubernamental	(DOF, 2008)
17	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal	(DOF, 1976)

5.2.1.4 Reglamentos

La **Tabla 5.6** presenta los reglamentos que regulan la implementación de las leyes en materia de exploración y extracción de hidrocarburos en México.

Tabla 5.6. Reglamentos de leyes en materia de exploración y extracción de hidrocarburos en México. Fuente: elaboración propia.

Legislación	Tema	Descripción
Reglamento de la Ley de Hidrocarburos	Reglamentar la exploración y extracción de hidrocarburos, entre otros aspectos	Reglamentar los Títulos Primero (disposiciones generales); Segundo (de la exploración y extracción de hidrocarburos y del reconocimiento y exploración superficial) y Cuarto (disposiciones aplicables a la industria de hidrocarburos) de la Ley de Hidrocarburos (DOF, 2014g).
Reglamento de la Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos	Régimen de ingresos por la exploración y extracción	Establecer el régimen de ingresos que recibe el Estado por las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos realizadas a través de asignaciones y contratos (DOF, 2014h).
Reglamento de la Ley de Petróleos Mexicanos	Regular diversos aspectos de Pemex	Regular la organización, administración, funcionamiento, operación, control, evaluación y rendición de cuentas de Pemex, y establecer su régimen especial en diversas materias (DOF, 2009).

5.2.1.5 Códigos, lineamientos, manuales, acuerdos y otras disposiciones

La Comisión Nacional de Hidrocarburos brinda todos los códigos, lineamientos, manuales, acuerdos y otras disposiciones más específicas relacionadas con el sector hidrocarburos (CNH, 2020). Particularmente, México tiene regulación específica en materia de yacimientos no convencionales (Tabla 5.7).

Tabla 5.7 Regulación en materia de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales. Fuente: Elaboración propia.

Entidad	Regulación
Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA)	Disposiciones administrativas de carácter general que establecen los Lineamientos en materia de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para realizar las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales en tierra (DOF, 2017a).
Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH)	Lineamientos de perforación de pozos (DOF, 2016a).
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	Lineamientos para la protección y conservación de las aguas nacionales en actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales (DOF, 2017b).
Secretaría de Energía (SENER)	Lineamientos que establecen parámetros para determinar la contraprestación por extracción comercial que el asignatario o contratista entregará a los propietarios cuando sus proyectos alcancen la extracción comercial de hidrocarburos (DOF, 2018a).

En resumen, la legislación mexicana vigente no prohíbe actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales. Por lo que según el principio de permisión: “*lo no prohibido está permitido*”. La visión general implica explorar y extraer hidrocarburos en cualquier tipo de yacimientos bajo diversos argumentos que se pueden considerar y establecer como sus impulsores.

En general, la legislación mexicana omite objetivos susceptibles a considerarse en el mapa de ruta tecnológica relacionados con la exploración y extracción de hidrocarburos en cualquier tipo de yacimientos. Lo anterior es natural porque los objetivos y metas se reflejan comúnmente en los planes y programas que establece cada administración.

5.2.1.6 Planes y programas de la administración 2019-2024

La **Tabla 5.8** y **Tabla 5.9** presentan las secciones relacionadas con la exploración y extracción de hidrocarburos contenidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (DOF, 2019b) y el Programa Sectorial de Energía 2020-2024 (DOF, 2020), las cuales representan la visión y suponen impulsores de la administración pública federal en curso.

Tabla 5.8 Secciones relacionadas con la exploración y extracción de hidrocarburos en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Fuente: Elaboración propia con información de (DOF, 2019b).

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024	
Perspectiva	“Rescate del sector energético” - Propósito de importancia estratégica para la presente administración es el rescate de Pemex y la CFE para que vuelvan a operar como palancas del desarrollo nacional.
Impulsores	Rescatar el sector energético
Análisis	Critica la política del pasado, carece de un diagnóstico claro del presente y plantea un futuro meramente aspiracional al carecer de datos, acciones y argumentos sólidos que lo sustenten. Carece de compromisos relevantes susceptibles a evaluación

Tabla 5.9 Secciones relacionadas con la exploración y extracción de hidrocarburos en el Programa Sectorial de Energía 2020-2024. Fuente: Elaboración propia con información de (DOF, 2020).

Exploración y extracción de hidrocarburos en el Programa Sectorial de Energía 2020-2024	
Perspectiva	Objetivo prioritario 1.- Alcanzar y mantener la autosuficiencia energética sostenible para satisfacer la demanda energética de la población con producción nacional
	Objetivo prioritario 2.- Fortalecer a las empresas productivas del Estado mexicano como garantes de la seguridad y soberanía energética, y palanca del desarrollo nacional para detonar un efecto multiplicador en el sector privado
	Objetivo prioritario 5.- Asegurar el acceso universal a las energías, para que toda la sociedad mexicana disponga de las mismas para su desarrollo
	Estrategia prioritaria 1.2 - Incrementar la inversión en actividades de exploración y extracción, así como valorar las posibilidades de diversificación de la cartera de proyectos y tomar las medidas emergentes

Exploración y extracción de hidrocarburos en el Programa Sectorial de Energía 2020-2024	
Perspectiva	que permitan alcanzar las metas de producción para garantizar el suministro de hidrocarburos en territorio nacional
	Estrategia prioritaria 1.7 - Acelerar la incorporación de reservas e incrementar la producción de hidrocarburos
	Estrategia prioritaria 2.2 - Fortalecer a Pemex para garantizar la Rectoría del Estado, y la seguridad y soberanía en materia de producción y suministro de hidrocarburos
	Estrategia prioritaria 5.3 - Incrementar la disponibilidad y cobertura del gas natural, así como optimizar su aprovechamiento
	Acción 1.2.2 - Aumentar la inversión en actividades de exploración en áreas terrestres y aguas someras a través de Pemex.
	Acción 1.2.3 - Mejorar y acelerar la gestión que permita incorporar la producción de campos nuevos que sustituyan la producción de campos maduros de petróleo crudo y gas
	Acción 1.2.5 - Incentivar la inversión en actividades de exploración y extracción para obtener crudo ligero y gas húmedo.
	Acción 1.2.7 - Incrementar la inversión para el desarrollo de nuevas tecnologías para la exploración y extracción de hidrocarburos, incluyendo tecnologías de recuperación primaria, secundaria y mejorada, enfocadas a garantizar la satisfacción de la demanda nacional.
	Acción 1.2.8 - Aumentar la tasa de restitución y las Reservas Probadas de crudo a un horizonte de 20 años.
	Acción 1.7.2 - Fomentar el aumento de la actividad y eficiencia de la fase exploratoria e incentivar la identificación del potencial de recursos prospectivos cercanos a campos e instalaciones existentes.
	Acción 2.2.1 - Orientar el otorgamiento y modificación de asignaciones a Pemex en actividades de exploración y extracción de hidrocarburos, para asegurar que la producción de petróleo crudo y gas natural garantice la satisfacción de las necesidades del país.
	Acción 5.3.1 - Incrementar la participación de proyectos de exploración y extracción de gas natural no asociado en la plataforma nacional de producción.
Impulsor	Lograr la autosuficiencia energética sostenible. Reforzar la seguridad energética del país Incrementar inversión en actividades de exploración y extracción Garantizar la soberanía y seguridad energéticas

Exploración y extracción de hidrocarburos en el Programa Sectorial de Energía 2020-2024

Análisis

Para los objetivos prioritarios se presenta un diagnóstico seguido por una descripción de la relevancia de cada objetivo. Proporciona datos históricos para criticar la política anterior. Proporciona estrategias y acciones puntuales para las mismas. Señala lo que se debe hacer (acciones), sin detallar cómo debería hacerse

En resumen, los documentos gubernamentales de la administración 2019-2024 sientan las bases para explorar el establecer y justificar una perspectiva e impulsores particulares para un mapa de ruta tecnológica en exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales.

La narrativa respecto a garantizar la soberanía y seguridad energéticas, así como el incremento de la producción de petróleo y gas natural, podrían considerarse como impulsores que justifiquen la producción en yacimientos no convencionales.

Aunque el programa sectorial establece metas y parámetros para los objetivos prioritarios, éstos no refieren directamente objetivos o metas particulares relacionados con la producción de gas y petróleo, aún menos en yacimientos no convencionales.

Por lo anterior, en la siguiente sección se proporcionan datos de referencia nacional e internacional que permitirían establecer una meta u objetivo respecto al tema del mapa de ruta tecnológica.

5.3 Referencias nacionales

5.3.1.1 *Provincias petroleras en México*

México tiene 48 provincias geológicas, 23 de éstas con sistemas petroleros y 12 de éstas se definen como provincias con sistemas petroleros activos (**Figura 5.2**).



Figura 5.2. Provincias petroleras de México. Fuente: SENER (2020b).

5.3.1.2 Recursos de hidrocarburos en México

La **Tabla 5.10** presenta los recursos identificados en México por provincia petrolera clasificados en volúmenes descubiertos (reservas) y no descubiertos (recursos prospectivos) al 1 de enero de 2020. Las provincias petroleras de Chihuahua, Golfo de California y Vizcaíno-La Purísima-Iray, no cuentan con evaluación de recursos petroleros.

Tabla 5.10. Recursos de hidrocarburos por provincia petrolera. Fuente: SENER (2020b).

No.	Provincia petrolera	Reservas	Recursos prospectivos (MMbpce)	
		3P	Convencionales	No convencionales
1	Burgos	351.0	3,204.0	10,769.7
2	Cinturón Plegado de Chiapas	---	1,172	---
3	Cinturón Plegado Perdido	---	---	---
4	Cuencas del Sureste	12,805.6	14,466.0	---
5	Golfo de México Profundo	195.7	23,929.0	---

No.	Provincia petrolera	Reservas	Recursos prospectivos (MMbpce)	
		3P	Convencionales	No convencionales
6	Plataforma de Yucatán	---	1,778.0	---
7	Sabinas-Burro-Picachos	43.4	395.0	13,950.2
8	Salina del Istmo	---	---	---
9	Tampico Misantla	5,500.2	2,347.0	38,941.8
10	Veracruz	1,689.9	1,432.0	562.8
Total		23,088.2	48,723.0	64,224.5

El volumen descubierto comercial o reservas totales (3P) ascienden a 23,088 MMbpce. El volumen de recursos petrolero no descubierto o recursos prospectivos se estima en 112,947 MMbpce que equivale al doble de los recursos extraídos en México en los últimos 100 años, de los cuales 57% corresponde a recursos no convencionales (**Figura 5.3**).

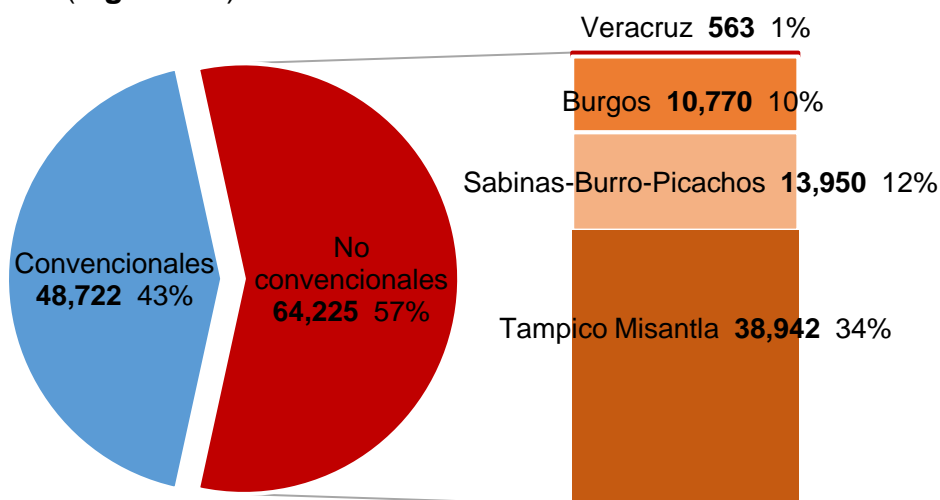


Figura 5.3. Recursos prospectivos de hidrocarburos no convencionales en México. Fuente: elaboración propia con información de SENER (2020b).

La mayor parte de los recursos prospectivos en México son no convencionales, los cuales no han sido documentados (2020b).

5.3.1.3 Provincias petroleras con recursos no convencionales

La **Tabla 5.11** presenta las características geológicas principales de las cuatro provincias petroleras con recursos prospectivos no convencionales: (1) Burgos; (2) Sabinas-Burro-Picachos; (3) Tampico-Misantla y (4) Veracruz (SENER, 2020b).

La CNH también presenta una síntesis geológica petrolera de las áreas con potencial de aceite y gas de lutitas en dichas provincias (CNH, s/f).

Tabla 5.11. Provincias petroleras con recursos no convencionales (MMbpce).
Fuente: elaboración propia con información de SENER (2020b).

#	Provincia petrolera	Características geológicas	Recurso prospectivo	
1	Burgos	Principal hidrocarburo: Gas no asociado Rocas generadoras: litologías arcillo-calcáreas del Jurásico Superior Tithoniano y Lutitas del Paleógeno. Objetivos de lutitas prospectivos Cretácico (Turoniano) con la formación Agua Nueva Jurásico-Tithoniano con la formación Pimienta.	C	3,204.0
				7%
			N	10,769.7
				C
2	Sabinas-Burro-Picachos	Principal hidrocarburo: Gas seco Constituida principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico. Rocas generadoras: Formaciones La Casita (área de Sabinas); Eagle Ford y Tithoniano (áreas Sabinas t Burro-Picachos) y Turoniano.	C	395.0
				1%
			N	13,950.2
				C
3	Tampico Misantla	Principal hidrocarburo: Aceite Rocas carbonatadas a nivel Mesozoico y siliciclásticos en el Paleógeno-Neógeno. Rocas generadoras: lutitas carbonosas del Jurásico inferior Medio, Mudstone calcáreo arcilloso y lutitas del Jurásico Superior Oxfordiano (Fm. Santiago), Kimmeridgiano (Fm. Tamán) y Tithoniano (Fm. Pimienta).	C	2,347.0
				5%
			N	38,941.8
				C
4	Veracruz	Principal hidrocarburo: Gas y aceite Rocas generadoras: calizas arcillosas y lutitas del Jurásico Superior Tithoniano, calizas arcillosas del Cretácico Medio y lutitas del Mioceno Superior. Estas últimas se clasifican como rocas biogénicas de fuente de gas.	C	1,432.0
				3%
			N	562.8
				C
Total convencional (MMbpce)			48,723.0	
Total no convencional (MMbpce)			64,224	

C: Convencionales

NC: No convencionales

El resto de las provincias petroleras aporta 41,345.0 MMbpce (85%) sólo en recursos convencionales e incluye Cinturón Plegado de Chiapas, Cinturón Plegado Perdido, Cuencas del Sureste, Golfo Profundo, Plataforma de Yucatán y Salina del Istmo.

La provincia de Tampico-Misantla presenta el mayor potencial de recursos prospectivos no convencionales estimado en 38,942 MMbpce (SENER, 2020b). El aceite es el hidrocarburo predominante en los *plays* Pimienta y Agua Nueva.

5.3.1.4 Reservas y volumen remanentes en áreas terrestres no convencionales

Las áreas terrestres no convencionales registran 489 pozos con 2,060 MMbpce de reservas remanentes 3P. El volumen remanente es 28,182 MMbpce, un 13% del volumen remanente total de las cuatro categorías (Figura 5.4)

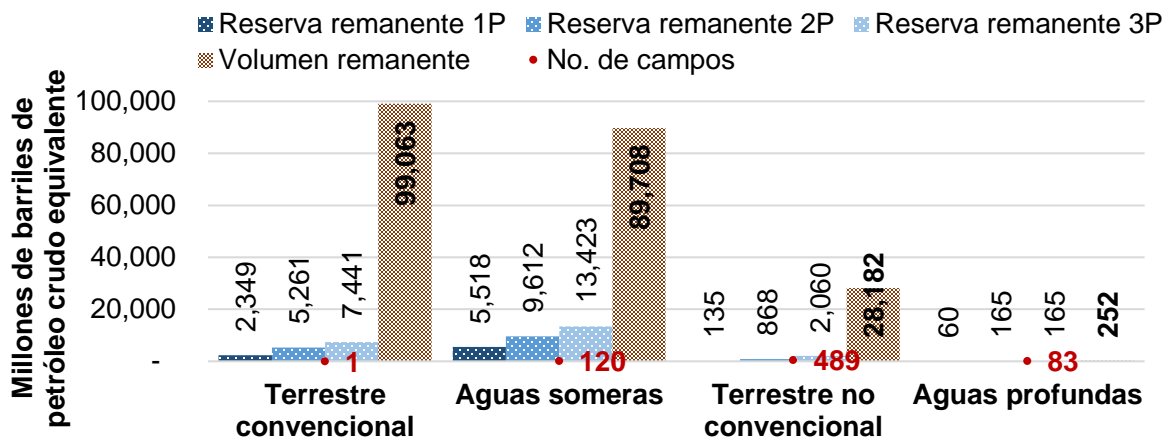


Figura 5.4. Reservas y volumen remanente por ubicación. Fuente: elaboración propia con información de SENER (2020b).

5.3.1.5 Potencial recursos no convencionales en México

México ocupa el sexto lugar mundial en recursos de gas de lutitas técnicamente recuperables, con 545 billones de pies cúbicos, representa 7% del total de recursos evaluados en el mundo al 2015 (7,576 billones de pies cúbicos) (EIA, 2013).

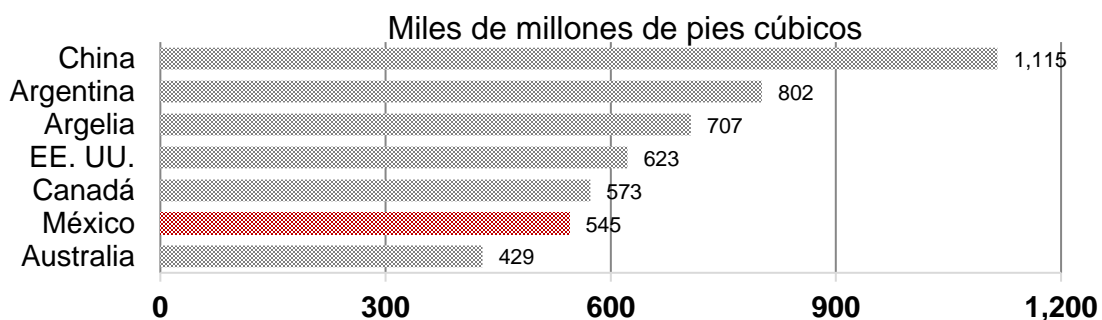


Figura 5.5. Recursos de gas de lutitas en el mundo. Fuente: EIA (2013).

El recurso por descubrir en México se estima en 235 billones de pies cúbicos, la mayor parte en el norte del país: 20% estaría en las cuencas Tampico-Misantla y Veracruz y 58% se encontraría en Burgos, Sabinas, y Burro-Picachos.

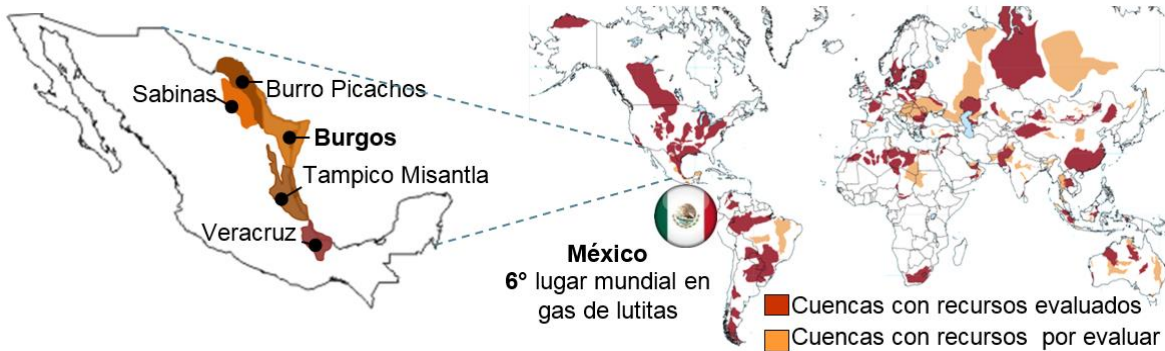


Figura 5.6 Cuencas del mundo con recursos de lutitas y cuencas de México con recursos de gas de lutitas. Fuente: EIA (2013).

5.3.1.6 Prospección en áreas terrestres no convencionales

Pemex como única empresa petrolera facultada para explorar y extraer hidrocarburos en México hasta antes de 2013, realizó actividades de prospección de gas de lutitas en la provincia Burro-Picachos y Burgos (CNH, 2013). La **Tabla 5.12** muestra los pozos exploratorios perforados en Burgos del 2010 al 2013.

Tabla 5.12. Pozos exploratorios perforados en áreas terrestres no convencionales de Burgos, 2010-2013. Fuente: Pemex (2014).

Año	Pozo	Año	Pozo	Año	Pozo
2010	Emergente 1	2012	Anhérido-1	2013	Tangram-1
2011	Nómada-1	2013	Chucla-1	2013	Serbal-1
2011	Montañés-1	2013	Durián-1	2013	Batial-1
2012	Percutor-1	2013	Nuncio-1	2013	Céfiro-1
2012	Habano-1	2013	Gamma-1	2013	Mosquete-1
2012	Arbolero-1	2013	Kernel-1	2013	Nerita-1

El objetivo de la perforación de pozos exploratorios fue reducir la incertidumbre de modelos geofísicos, mejorar la estimación de recursos potenciales y sentar las bases para el desarrollo masivo (CNH, s/f).

Aunque Pemex realizó actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en áreas terrestres no convencionales antes de la Reforma Energética de 2013, éstas fueron incipientes para lograr una producción comercial.

5.3.1.7 Producción de hidrocarburos en áreas terrestres no convencionales

Históricamente, la extracción de hidrocarburos en México proviene principalmente de campos marinos (aguas someras) y terrestres (convencionales) (Figura 5.7).

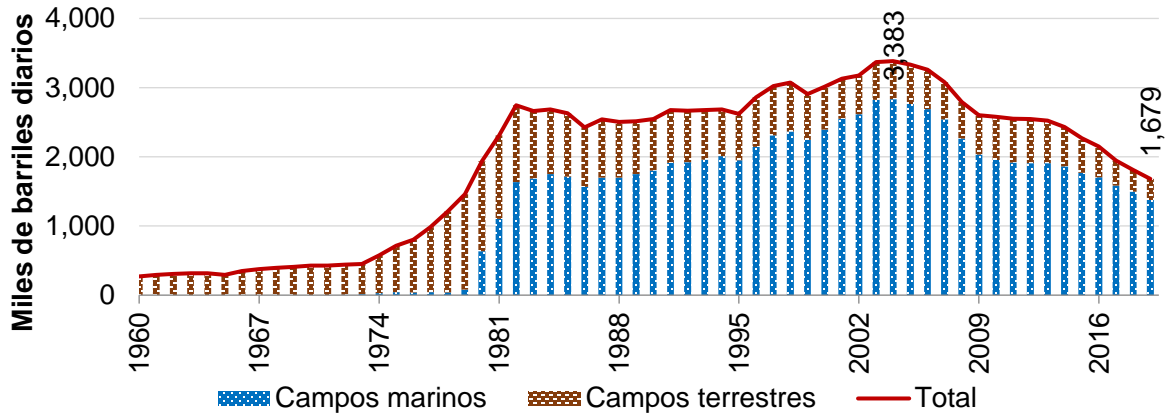


Figura 5.7 Producción de petróleo por campo, 1970-2019. Fuente: elaboración propia con información de CNIH (2020b).

En 2019, los campos marinos aportaron 82% de la producción (1,375 mil barriles diarios) y los campos terrestres 18% (304 mil barriles diarios). La participación en la producción es prácticamente nula de campos terrestres no convencionales y campos marinos en aguas profundas.

5.3.1.8 Pronósticos de producción de recursos no convencionales

En el escenario de Reforma Energética (Figura 5.8), la Agencia Internacional de Energía pronosticó la extracción de hidrocarburos provenientes de áreas en las cuatro categorías: (1) aguas someras, (2) aguas profundas, (3) terrestres convencionales e inclusive (4) terrestres no convencionales.

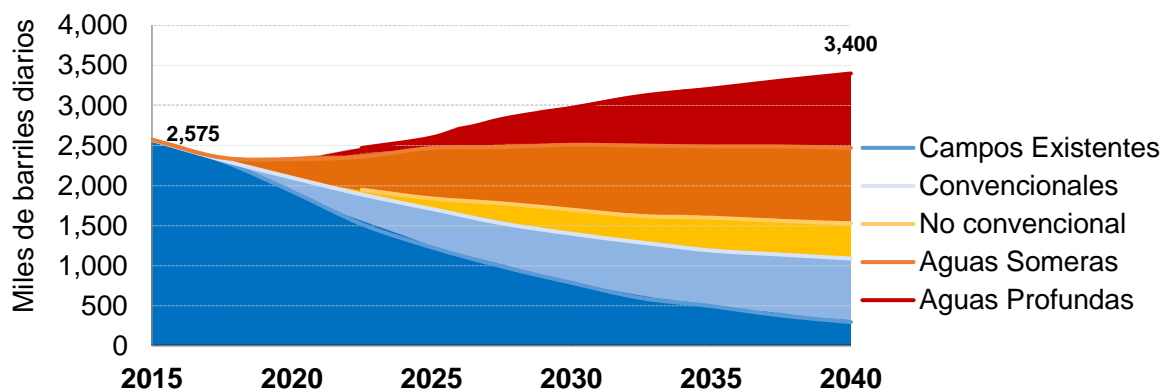


Figura 5.8. Escenario de producción de México con Reforma Energética. Fuente: IEA (2016).

La **Figura 5.8** muestra que la producción en áreas terrestres no convencionales aportaría alrededor de 440 mil barriles por día a la producción total de México en el 2040. Aunque dicha producción representaría un 13% del total, ésta sería parte integral necesaria para alcanzar la plataforma de producción de 3,400 mil barriles por día (IEA, 2016).

5.3.2 Referencias internacionales

5.3.2.1 Provincias petroleras y potencial de recursos

La Administración de Información Energética (EIA) de los Estados Unidos proporciona un reporte con una evaluación inicial de los recursos de gas y aceite de lutitas (EIA, 2013). La **Figura 5.9** muestra las cuencas mundiales evaluadas.

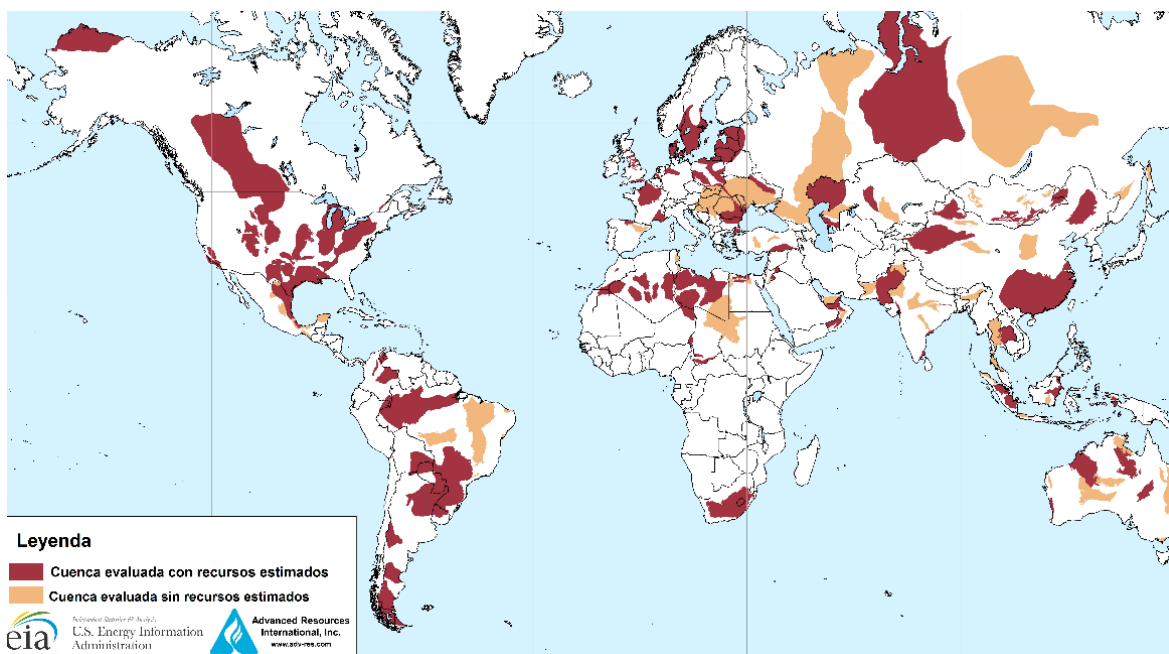


Figura 5.9. Cuencas del mundo evaluadas. Fuente: EIA (2013).

La **Figura 5.10** presenta los 20 países con más recursos técnicamente recuperables de gas húmedo de gas de lutitas en trillones de pies cúbicos (Tcf) y el porcentaje respecto al total de los 46 países evaluados (7,576.6 Tcf) (EIA, 2013).

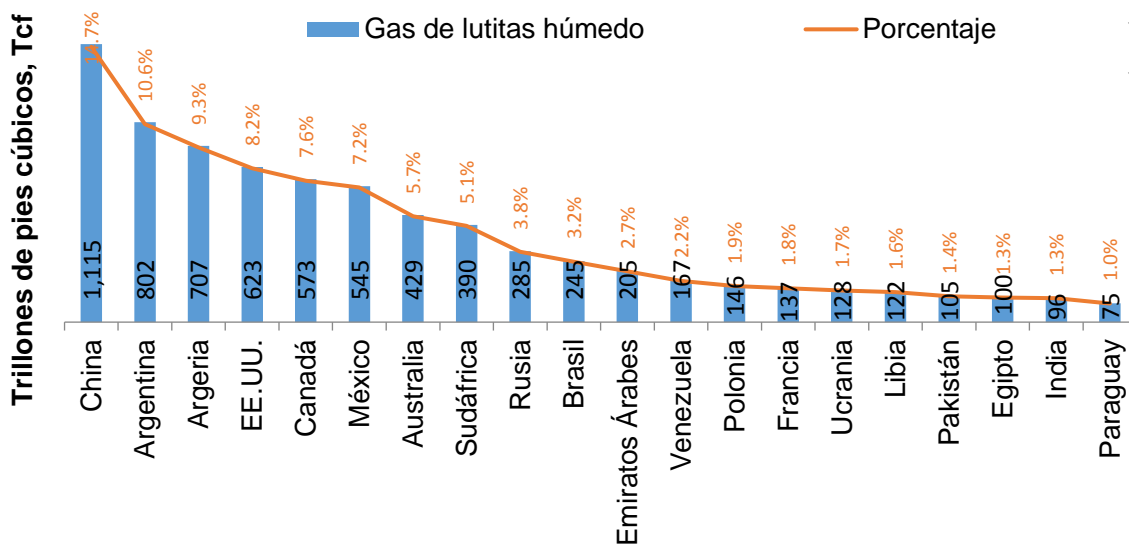


Figura 5.10. Países principales con recursos técnicamente recuperables de gas húmedo de gas de lutitas. Fuente: EIA (2013).

5.3.2.2 Producción de gas natural de lutitas

Al 2020, cuatro países tienen producción comercial de gas de lutitas: (1) Estados Unidos, (2) Canadá, (3) China y (4) Argentina. La **Figura 5.11** presenta los datos históricos de la producción.

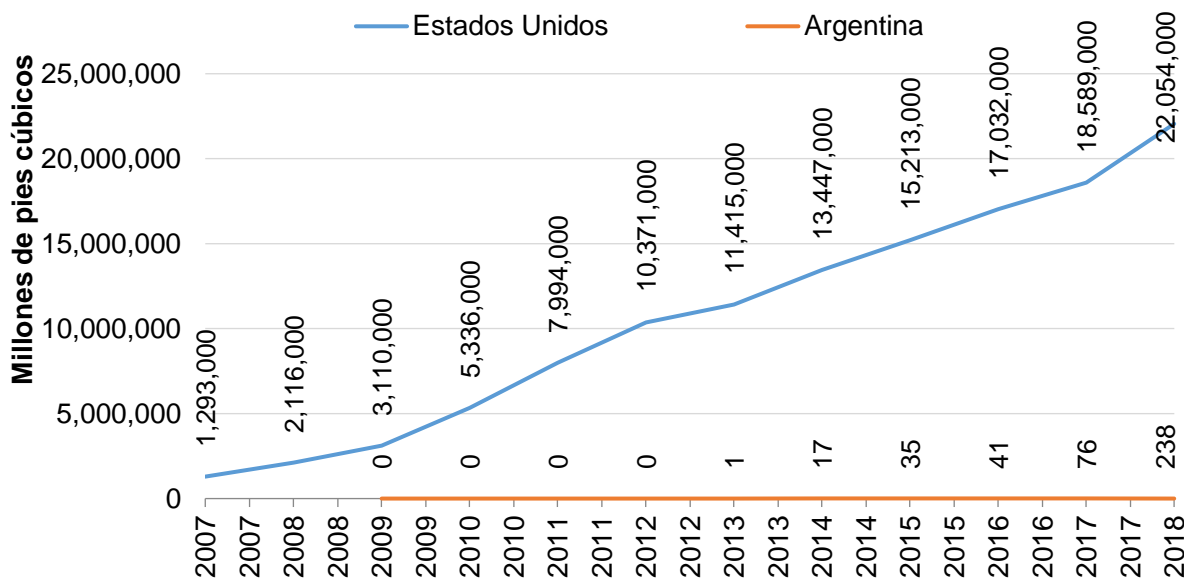


Figura 5.11 Producción histórica de gas de lutitas por país. Fuente: Elaboración propia con información de EIA (2019) y Secretaría de Energía de Argentina (2020).

La **Tabla 5.13** presenta datos relevantes de los países con producción comercial de gas de lutitas.

Tabla 5.13 Datos relevantes de los países con producción comercial de gas de lutitas. Elaboración propia con información de API (2017); Rivard y otros (2014); Zou y otros (2016) y Villalba (2018).

País	Datos relevantes del aprovechamiento de gas de lutitas
Estados Unidos	<p>La producción de gas de lutitas inició en 2007:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La producción de gas de lutitas lo convirtió de ser un importador neto a un exportador neto de gas natural • En 9 años (2007 a 2016) incrementó la producción de gas de lutitas en 6 veces, pasando de 10% a 60% de su producción total de gas natural (15.8 Billones de pc en 2016) • Cinco estados son los que proporcionan el 65% del gas natural húmedo que se produjo en 2015: Texas (26%), Pennsylvania (18%), Oklahoma (9%), Wyoming (6%) y Louisiana (6%). • Entre 2008-2015 produjo en promedio 23,630 MMbpced de gas de lutitas. Es 6.6 veces lo producido y 5.5 veces las importaciones de México en 2016. • Entre 2011 y 2014 se perforaron con fracturamiento hidráulico entre 25,000-30,000 nuevos pozos cada año. • Casi la mitad de pozos con fracturamiento hidráulico se realizaron en Texas, seguido por Colorado, Pensilvania y Dakota del Norte. • Primer y mayor productor mundial de gas de lutitas (Tabla 5.14). (API, 2017)
Canadá	<p>La producción de hidrocarburos de lutitas inició en 2005.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Provino de las cuencas Montney (2005) y Horn River (2007), con una extensión aproximada de 11,500 y 26,000 km² • La perforación y producción de gas de lutitas es principalmente al noreste de Columbia Británica, en 4 <i>plays</i> activos: Cuenca Horn River, Montney Play Trend, en menor medida cuenca Liard y Cordova Embayment. • Los <i>plays</i> activos en Alberta son lutitas de Duvernay y Montney, formaciones con un área aproximada de 9,850 y 25,549 km² • Más de 1,100 pozos perforados para producir y explorar gas de lutitas en las provincias Columbia Británica y Alberta. • Entre los cuatro productores principales de gas de lutitas en el mundo (Tabla 5.14). (Rivard, y otros, 2014)

País	Datos relevantes del aprovechamiento de gas de lutitas
China	<p>La exploración y desarrollo de gas de lutitas inició en 2005.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exploración y desarrollo en 5 cuencas sedimentarias de 11 provincias por más de 20 empresas domésticas y extranjeras. • Hay 54 bloques prospectivos de gas de lutitas con un área de 170,000 km² (1.0 veces la superficie de Sonora) • 22,000 km de sísmica 2-D (1.9 veces la longitud costera mexicana) • 2,134 km² de sísmica 3D (1.4 veces la superficie de CDMX) • Perforación de más de 800 pozos. • Entre los cuatro productores principales de gas de lutitas en el mundo (Tabla 5.14). <p>(Zou, y otros, 2016)</p>
Argentina	<p>La producción de gas de lutitas comenzó en 2010</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proviene principalmente de la cuenca Neuquina (150,000 km²) con mayor actividad en la formación Vaca Muerta, aunque existen otras como Los Molles, Lajas, Agrio, Mulichinco y Quintuco • La cuenca del Golfo San Jorge (135,000 km²) y la cuenca Austral Magallanes (147,000 km²) presentan una actividad incipiente respecto a la cuenca Neuquina • 1501 pozos extraían recursos <i>shale</i> (759 pozos) y <i>tight</i> (742 pozos) en 2017, el 46% alcanzaban la formación Vaca Muerta • 10 empresas operaban en Vaca Muerta en 2017, la empresa estatal YPF registraba la mayor participación con 74% de pozos en operación. • Tres cuencas producen lutitas: Neuquina, Golfo San Jorge y Austral Magallanes • Entre los cuatro productores principales de gas de lutitas en el mundo (Tabla 5.14). <p>(Villalba, 2018)</p>

5.3.2.3 Producción de gas natural

La **Tabla 5.14** presenta la producción promedio anual de los principales países productores de gas natural (BP, 2020).

Tabla 5.14. Producción anual de gas natural por país en 2019. Fuente: BP (2020)

No.	País	Producción anual MMpc	No.	País	Producción anual MMpc
1	Estados Unidos	32,520,596 (25,290,000)	13	Egipto	2,293,288

No.	País	Producción anual MMpc	No.	País	Producción anual MMpc
2	Rusia	23,980,239	14	Turkmenistán	2,230,587
3	Irán	8,622,258	15	Emiratos Árabes Unidos	2,208,255
4	Qatar	6,290,547	16	Uzbekistán	1,987,283
5	China	6,270,323 (N/D)	17	Nigeria	1,740,276
6	Canadá	6,113,119 (N/D)	18	Argentina	1,469,649 (N/D)
7	Australia	5,419,533	19	Reino Unido	1,399,499
8	Noruega	4,039,481	20	Omán	1,283,312
9	Arabia Saudita	4,013,310	21	Tailandia	1,263,300
10	Argelia	3,045,536	22	Trinidad & Tobago	1,220,506
11	Malasia	2,783,154	23	México	1,200,345
12	Indonesia	2,385,235	24	Total mundial	140,882,020

La producción incluye gas de lutitas entre paréntesis para el caso de Estados Unidos. En Estados Unidos el porcentaje de producción de gas de lutitas respecto al total es 78%. Los datos de producción actualizados de Canadá, China y Argentina no están disponibles.

La Secretaría de Energía de Argentina reporta la producción de gas de lutitas por año, mes, cuenca, provincia y empresa operadora (Secretaría de Energía de Argentina, 2020). Para Estados Unidos, la Administración de Información Energética reporta la producción de gas de lutitas por estado (EIA, 2019)

5.4 Conclusión: perspectivas, metas e impulsores

5.4.1 Perspectivas

La perspectiva propuesta conjunta consideraciones de la legislación y premisas de la política energética actual, las cuales se expresan de tal manera que permitan sustentar la iniciativa de mapa de ruta tecnológica en exploración y extracción de recursos no convencionales de gas de lutitas en México.

“Rescate del sector energético” (DOF, 2019b) mediante la “restitución de reservas de hidrocarburos” (DOF, 2020), reconsiderando la promoción de actividades en aguas profundas y terrestres no convencionales, en tanto se garantice “contar con mejores tecnologías y procesos para el uso del fracturamiento hidráulico masivo o

fracking, preservando y sin impactar el medio ambiente, con respeto al entorno social (SENER, 2020b).

5.4.2 Meta

La meta propuesta considera el potencial y prospectivas de producción de recursos no convencionales de gas de lutitas en México. Asimismo, la meta considera valores de referencia en perforación de pozos y producción de gas de lutitas de los cuatro países con producción comercial.

La meta propuesta para orientar la discusión del mapa de ruta tecnológica en exploración y extracción de recursos no convencionales de gas de lutitas en México es la siguiente:

- Aumentar el conocimiento de las áreas terrestres no convencionales mediante la perforación de al menos 1,000 pozos exploratorios, de evaluación y de desarrollo para lograr una producción comercial anual de 400 millones de pies cúbicos de gas de lutitas de manera sustentable en el 2030.

No obstante, la meta es sólo una propuesta cuya pertinencia deberá evaluar la autoridad o grupo de interés que promueva la iniciativa de mapa de ruta tecnológica, para plantearla y someterla a discusión entre los especialistas invitados en los talleres para la elaboración del mapa de ruta tecnológica sobre el tema.

5.4.3 Impulsores

México necesita incentivar e incrementar la inversión en actividades de exploración y extracción en el área del Golfo de México Profundo y las cuencas precursoras de recursos no convencionales, que permitiría (SENER, 2020b):

- Aumentar el conocimiento de las áreas terrestres no convencionales
- Incorporar reservas y la producción de hidrocarburos,

México cuenta con un alto potencial en aguas profundas y de recursos no convencionales en lutitas, mismos que se podrían considerar para el diseño de futuras estrategias de licitación con los siguientes resultados (DOF, 2020):

- Lograr la autosuficiencia energética sostenible.
- Reforzar la seguridad energética del país.
- Garantizar la soberanía y seguridad energéticas.
- Disminuir la creciente importación de gas natural.

5.5 Diagnóstico de la situación actual

5.5.1 Diagnóstico político

5.5.1.1 Política nacional

La política energética del presente gobierno mexicano (2018-2024) en el tema de exploración y producción de hidrocarburos orienta sus esfuerzos al rescate de Petróleos Mexicanos, bajo la premisa de que la Reforma Energética del sexenio anterior le causó un daño gravísimo (DOF, 2019a).

La legislación mexicana establece un proceso de licitación de contratos para la exploración y extracción para adjudicar áreas contractuales (DOF, 2016b). El Plan Quinquenal es el documento indicativo en el que se establecen las áreas contractuales que se propone licitar durante un período de cinco años (DOF, 2014g).

Aunque la legislación actual permite las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos mediante contratos con particulares, los procesos de licitación para la adjudicación de contratos están detenidos desde el 7 de diciembre de 2018 cuando la SENER solicitó a la CNH la cancelación de las licitaciones CNH-R03-L02/2018 y CNH-R03-L03/2018 (CNH, 2018c).

La SENER justificó la decisión para “*evaluar los alcances del Plan Quinquenal y los resultados, así como los avances de los Contratos para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos vigentes*” (CNH, 2018d).

A pesar de que el 28 de octubre de 2020 la SENER publicó la aprobación del Plan Quinquenal de Licitaciones 2020-2024 con las áreas contractuales susceptibles de licitarse, la SENER precisó que dicha publicación “*no implica de forma obligatoria llevar a cabo de manera inmediata procesos de adjudicación de las mismas, vía licitación*” (SENER, 2020b).

5.5.1.1.1 Plan Quinquenal 2020-2024

El Plan Quinquenal 2020-2024 considera 172 áreas contractuales sólo en tres categorías: 51 en aguas profundas, 62 en aguas someras y 59 en terrestres convencionales (**Figura 5.12**). La superficie total en las áreas propuestas es 155,321.9 km², con 12,644.6 MMbpce en recursos prospectivos y 818.8 MMbpce en volumen remanente (SENER, 2020b).

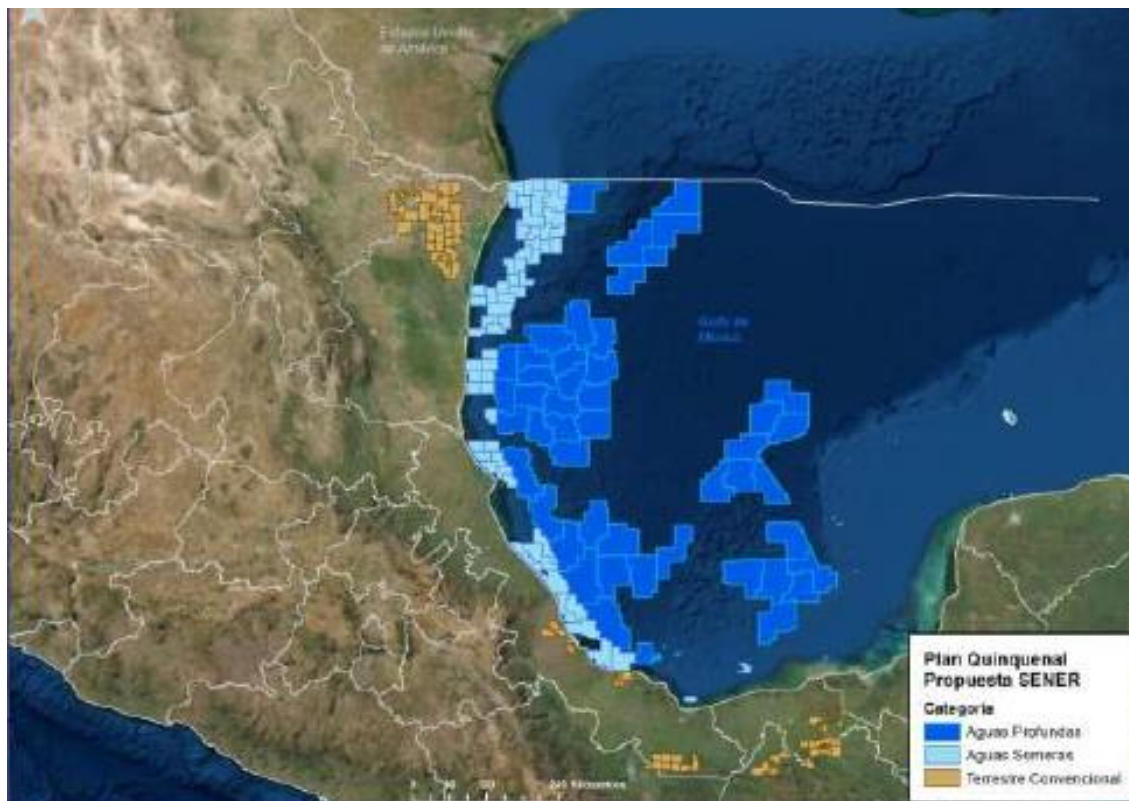


Figura 5.12 Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2020-2024: áreas a licitar. Fuente: SENER (2020b).

5.5.1.1.2 Plan Quinquenal 2020-2024: recursos no convencionales

El Plan Quinquenal (2020-2024) establece que la actual política energética “*prioriza inversiones en aguas someras y terrestres convencionales, relegando actividades en aguas profundas y terrestres no convencionales, considerando restricciones presupuestales, requerimientos de incorporación de reservas, nuevos descubrimientos con mayor potencial y el riesgo por incumplimiento en la ejecución de CEE*” (SENER, 2020b).

Aunque el Plan Quinquenal 2020-2024 reconoce el potencial de recursos no convencionales en México, éste excluye la categoría de terrestres no convencionales (SENER, 2020b).

Adicionalmente, el Plan Quinquenal 2019-2024 establece que “*con la política energética actual se prescinde totalmente de la extracción de estos recursos no convencionales en lutitas, que involucren el uso del fracturamiento hidráulico masivo o fracking, en tanto se garantiza contar con mejores tecnologías y procesos para esta técnica, preservando y sin impactar el medio ambiente, con respeto al entorno social y que los precios de los hidrocarburos sean suficientemente altos para que sean económicamente rentables los proyectos*” (SENER, 2020b).

A pesar de ello, tanto los yacimientos no convencionales como los convencionales usan fractura hidráulica, aunque con ciertas diferencias (**Tabla 5.15**).

Tabla 5.15 Diferencias en el uso de la fractura hidráulica en yacimientos convencionales y no convencionales. Fuente: elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2017).

Diferencias	Yacimientos Convencionales	Yacimientos No convencionales
Propósito:	Técnica de estimulación o reparación	Técnica de producción probada
Alcance:	Tratamientos pequeños en pozos verticales	Tratamientos masivos en pozos horizontales
Particularidad:	Menos perforación y más productividad	Perforación intensiva para mantener producción

Lo anterior contrasta con el Plan Quinquenal 2015-2019 que en su estrategia 2017 propuso 579 bloques para la selección de áreas: 119 en aguas profundas, 112 en aguas someras, 150 en terrestres convencionales y 128 en terrestres no convencionales (**Figura 5.13**). Del total, 427 áreas con recursos convencionales y 152 recursos no convencionales.

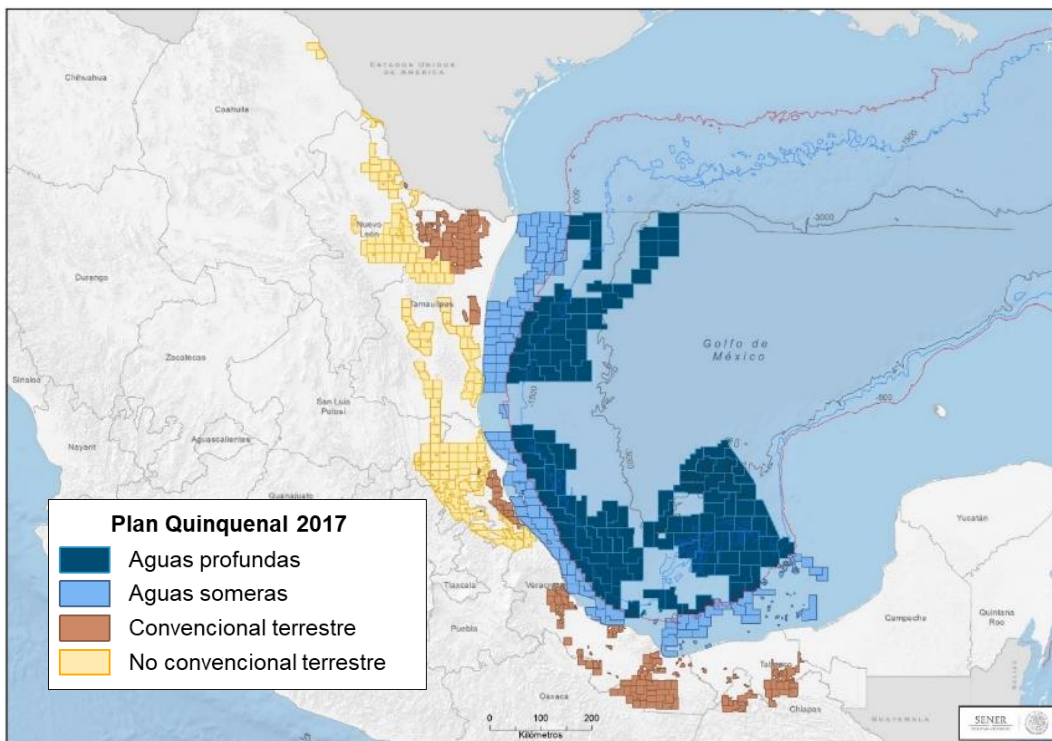


Figura 5.13 Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2015-2019: áreas a licitar. Fuente: SENER (2017).

El Plan Quinquenal 2015-2019 en su estrategia 2017 consideró una superficie total en las áreas propuestas de 239,007.3 km², con un recurso total de 90,271.1 MMbpce (42,680.9 MMbpce en recursos prospectivos y 47,590.2 MMbpce en volumen remanente). De los recursos prospectivos, 11,749.5 MMbpce eran convencionales y 30,931.4 MMbpce no convencionales (SENER, 2017).

La **Tabla 5.16** presenta como referencia los acontecimientos relacionados con la política del aprovechamiento de áreas terrestres no convencionales en México en el sexenio anterior 2012-2018.

Tabla 5.16. Línea de tiempo con la política del aprovechamiento de áreas terrestres no convencionales en México. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2014), CNH (2018e) y CNH (2018d).

Fecha	Acontecimiento
13 de agosto de 2014	El gobierno mexicano consideró áreas terrestres no convencionales en la primera aproximación de la Ronda 1 para la licitación de contratos de exploración y extracción de hidrocarburos (SENER, 2014).
30 de junio de 2015	La SENER emitió el primer Plan Quinquenal de Licitaciones 2015-2019 para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos. La versión definitiva consideró la participación del gobierno federal, gobiernos locales e industria e incluyó finalmente 235,070.0 km ² en 237 campos de extracción (169 terrestres, 12 en Chicontepec, 13 campos de aceite extra-pesado, 39 en aguas someras y 4 en aguas profundas) y 96 áreas de exploración: 29 en aguas profundas, 17 en aguas someras, 26 en terrestres (SENER, 2015).
marzo de 2017	La SENER incorpora una nueva estrategia en el Plan Quinquenal (Plan Quinquenal 2015-2019: nueva estrategia 2017). Las principales modificaciones incluyen dividir las áreas para licitación en cuatro categorías y abrirlas todas para nominación: (1) aguas profundas, (2) aguas someras, (3) terrestres no convencionales y (4) terrestres convencionales. Adicionalmente, programar dos procesos licitatorios por año según su categoría, planteando los terrestres no convencionales en el primer semestre (SENER, 2017)
2 de marzo de 2018	El gobierno mexicano incluye áreas contractuales terrestres no convencionales con la publicación de la tercera convocatoria de licitación de la Ronda 3 (CNH-R03-L03/2018) (CNH, 2018e).

Fecha	Acontecimiento
11 de diciembre de 2018	La SENER descartó la exploración y extracción de hidrocarburos en áreas terrestres no convencionales cuando solicitó a la CNH la cancelación de la licitación CNH-R03-L03/2018 (CNH, 2018d). La SENER justificó la decisión de cancelar la licitación áreas terrestres no convencionales para “ <i>evaluar los alcances del Plan Quinquenal y los resultados, así como los avances de los Contratos para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos vigentes</i> ” (CNH, 2018d).

5.5.1.1.3 Conclusión: política interna

La política energética actual presenta reservas hacia las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales. Aunque dicha política podría parecer un obstáculo, más bien representa una oportunidad para proponer los talleres para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica en exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales.

La SENER como encargada de establecer, conducir y coordinar la política energética del país¹ podría considerar los mapas de ruta tecnológica como una herramienta de planeación estratégica para realizar una evaluación con decisiones fundadas y motivadas. Dicha herramienta se ha usado en México para la planeación de la Administración Pública en temas relacionados con la política energética.

5.5.1.2 Política internacional

La exploración y extracción de hidrocarburos son actividades esenciales en el sector energético. En 2018, la principal fuente de energía primaria en el mundo provino de combustibles fósiles. La participación del petróleo, carbón y gas representó el 34%, 27% y 24%, respectivamente (**Figura 5.14**).

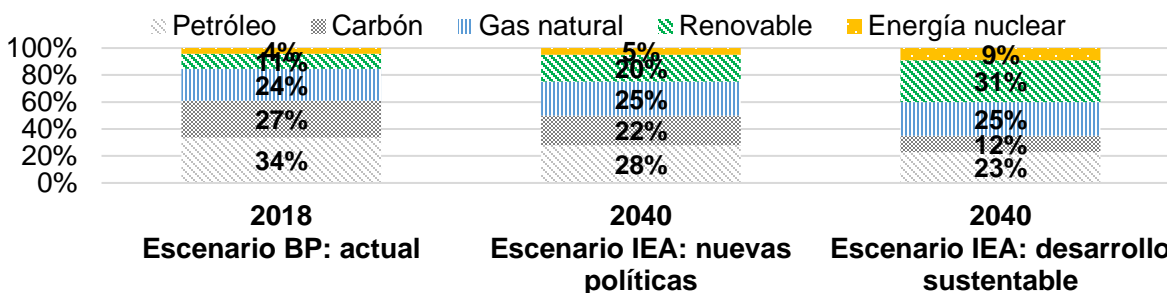


Figura 5.14 Participación de la energía primaria en el mundo. Fuente: elaboración propia con información de BP (2019) y IEA (2019).

¹ Conforme al artículo 33 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

La **Figura 5.14** muestra también que los combustibles fósiles seguirán teniendo una participación relevante dentro de la matriz energética mundial en el 2040, como lo sugiere la Agencia Internacional de Energía en sus diversos escenarios (IEA, 2019).

5.5.1.2.1 Transición energética

Diversos autores consideran al gas natural como el combustible de transición hacia una economía baja en carbono por su abundancia, eficiencia y más limpieza en la combustión en comparación con otros combustibles fósiles (Rivard, y otros, 2014).

Asimismo, diversos autores consideran las lutitas como la nueva fuente abundante de gas natural en Norteamérica. La exploración y producción de gas de lutitas ha sido atractiva en los Estados Unidos porque representa una oportunidad para eliminar la dependencia de las importaciones petroleras y reemplazar las plantas generadoras de electricidad con carbón (Rivard, y otros, 2014).

5.5.1.2.2 Acuerdo de París

El 12 de diciembre de 2015, los países de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) adoptaron el Acuerdo de París, un acuerdo global de cambio climático, de carácter jurídicamente vinculante, mediante el cual los países se comprometen a participar en la reducción global de gases de efecto invernadero (UNCC, 2015).

El objetivo del Acuerdo de París es evitar que el incremento de la temperatura media global del planeta supere los 2°C respecto a los niveles preindustriales y promover esfuerzos adicionales que posibiliten que el calentamiento global no supere los 1.5°C (UNCC, 2015).

El Acuerdo de París entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, una vez que más de 55 países que representan al menos 55% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) globales habían ratificado el Acuerdo. México depositó ante Naciones Unidas el instrumento de ratificación del Acuerdo de París el 21 de septiembre de 2016 (SEMARNAT, 2016).

México se comprometió a través de sus Contribuciones Intencionales Determinadas a nivel Nacional (INDC) como parte de su plan de acción climática en el marco del Acuerdo de París, a las siguientes metas (IMCO, 2016):

1. Reducción no condicionada a reducir 25% de sus emisiones de GEI y contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), es decir, 22% de GEI y 51% de carbono negro.
2. Reducir sus emisiones del sector industria generando el 35% de energía limpia en 2024 y 43% al 2030.

En principio, la promoción de la exploración y extracción de gas de lutitas podría parecer una contradicción a los compromisos anteriores. No obstante, el gas natural es el combustible fósil más limpio y el combustible soporte para la transición energética.

5.5.1.2.3 Países con moratorias y prohibiciones de fractura hidráulica

Los beneficios y/o consecuencias del fracturamiento aún son controversiales a pesar de los avances tecnológicos y la experiencia depositada en lineamientos de mejores prácticas.

Algunos países como Francia, Escocia, Holanda y estados como Quebec, Maryland y Nueva York han declarado prohibiciones y/o moratoria al fracturamiento hidráulico. La Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente presenta un reporte de 15 casos en Europa, América y Oceanía con tales prohibiciones y/o moratorias (AIDA, 2019). Como referencia, la **Tabla 5.17** y **Tabla 5.18** presentan algunos países y estados que han declarado moratorias relacionadas con los recursos no convencionales.

Tabla 5.17. Países con prohibiciones y moratorias de fractura hidráulica.
Fuente: Elaboración propia con información de AIDA (2019).

País	Moratoria / Prohibición	Fecha	Justificación	Antecedentes
Bulgaria	Prohibición indefinida en el uso de fractura hidráulica.	18 / ene / 2012:	La prohibición se basa en la precaución, la prudencia y la obligación estatal de proteger la salud pública y el ambiente.	Las organizaciones ambientales y partidos de oposición deseaban imponer una moratoria y convocar un referendo. La ley se aprobó ante las protestas públicas masivas. El gobierno incluso revocó un permiso de gas de esquisto a Chevron.
Escocia	Moratoria en el desarrollo de gas y aceite no convencional hasta que el gobierno concluya el	28 / ene / 2015.	El gobierno asume posición precautoria mientras compila evidencia para	Se ha comisionado un reporte a un panel científico independiente experto, proyectos de investigación y una consulta pública. Los ministros recomendarán sobre el futuro del gas y

País	Moratoria / Prohibición	Fecha	Justificación	Antecedentes
	proceso de evaluación.		examinar impactos potenciales al ambiente, economía y salud (Scottish Government, 2019)	aceite no convencional y permitirán al Parlamento votar. Así, el gobierno llegará a un juicio con conocimiento.
Francia	Prohibición de exploración y producción de hidrocarburos líquidos o gaseosos mediante fractura hidráulica (Ley 2011-835)	13 / jul / 2011	La justificación se basa en el principio precautorio, que se consagra en la Constitución francesa.	En 2011 se suspendió la perforación de gas y aceite de lutitas a la espera del progreso de un reporte sobre las consecuencias ambientales de la explotación de lutitas. El resultado final fue la aprobación de la Ley 2011-835. En 2013 el Tribunal Constitucional ratificó la ley (Decisión 2013-346).
Holanda	Moratoria en la exploración y extracción comercial de gas de lutitas en los próximos 5 años.	10 de julio de 2015.	El gobierno aún no considera que el gas de lutitas pueda ser parte de la matriz energética; dada la incertidumbre demostrada por estudios (Government of the Netherlands, 2015)	Desde 2013 se ha comisionado estudios sobre efectos sociales, consecuencias ambientales y costos de la extracción de gas de lutitas. Los estudios han demostrado gran incertidumbre sobre los efectos de perforar el subsuelo para extraer gas de lutitas.

Tabla 5.18. Estados y provincias del mundo con prohibiciones y moratorias de fractura hidráulica. Fuente: Elaboración propia con información de Maryland (2017); The Hill (2017); NYT (2014); Department of Health (2014); Montreal Gazette (2014) y FNQLSDI (2014).

País	Moratoria / Prohibición	Fecha	Justificación	Antecedentes
Estados Unidos (Maryland)	Prohibición permanente a la fractura hidráulica en el Estado	17 / mar / 2017	El gobernador firmó el proyecto de ley considerando que los posibles riesgos ambientales superan los beneficios potenciales (Maryland Gov, 2017)	El estado no tiene sitios con fractura hidráulica pero la industria tiene interés en la porción de la formación de lutitas <u>Marcellus</u> . En marzo de 2017 el gobernador anunció su apoyo a prohibir la fractura, en abril de 2017 firmó el proyecto de ley (segundo estado en EU en prohibir la práctica) (The Hill, 2017)
Estados Unidos (Nueva York)	Prohibición de fractura hidráulica en el Estado.	17 /dic / 2014	El gobernador Cuomo citó riesgos a la salud para prohibir la fractura hidráulica (NYT, 2014).	La decisión se fundamentó en el estudio adelantado por el Departamento de Salud Pública de Nueva York (Department of Health, 2014)
Quebec, Canadá	Quebec impuso una moratoria en fractura hidráulica una vez que se tengan resultados de estudios ambientales incluyendo el de BAPE.	Junio de 2011	El gobierno de Quebec anunció respetar los hallazgos de un reporte de BAPE sobre los beneficios de la fractura hidráulica en Quebec. En 2014 se cerraba la	En 2011 el <i>Bureau des audiences publiques sur l'environnement (BAPE)</i> , agencia dedicada a la información y consulta pública de proyectos que impacten el ambiente, recomendó a la provincia detener el fracturamiento a la espera de más estudios. En 2013 se registró un proyecto de ley para prohibir ciertas actividades de exploración y

País	Moratoria / Prohibición	Fecha	Justificación	Antecedentes
			puerta a la fractura (Montreal Gazette, 2014)	producción de gas de lutitas (Bill 37). En 2014 BAFE concluyó que el fracturamiento no vale los riesgos (Reporte 307) (FNQLSDI, 2014)

5.5.1.2.4 Conclusión: política externa

La política energética hacia las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales varía entre los países según su disponibilidad potencial, accesibilidad y distribución de recursos.

El gas natural de lutitas ofrece la posibilidad a los países importadores de recursos energéticos de extraer su propio gas y reducir o eliminar la dependencia al exterior. La autosuficiencia energética es parte de la política de los países productores o en vías de producción, como el caso de Estados Unidos y Argentina.

Los países que persiguen la seguridad energética también consideran los costos y riesgos asociados con el gas no convencional de lutitas. Las políticas de varios países se orientan a los riesgos ambientales asociados con el gas no convencional. Un aspecto crítico, más no es el único que se consideran en los costos y riesgos.

5.5.2 Diagnóstico del mercado

5.5.2.1 Mercado de gas natural

El mercado global de gas natural ha experimentado cambios en las últimas décadas. Los cambios estructurales iniciaron en Estados Unidos a finales de la década de 1970 y en Reino Unido durante la década de 1990 impulsados por la política gubernamental más que por la industria misma. En el 2000, el mercado de gas natural en la mayor parte del mundo transitaba de ser un mercado de servicio público de monopolio natural y contractual de largo plazo a un mercado competitivo de materia prima de energía a corto plazo (Long, Moore, & Wenban-Smith, 2003).

La bursatilización de gas natural aunado a las restricciones técnicas y físicas genera que los precios de gas natural sean muy volátiles en corto plazo. El mercado de gas natural no sería necesariamente volátil por la incertidumbre de la demanda si la oferta fuera lo suficiente flexible para enfrentar sus variaciones inesperadas. La oferta de gas natural es inflexible por las restricciones de producción limitada, pero

principalmente por la capacidad fija de transporte existente, el tiempo de transporte y el limitado almacenamiento local (Long, Moore, & Wenban-Smith, 2003).

El mercado de gas natural es más competitivo y dinámico, y así seguirá conforme la participación del gas natural en la mezcla energética mundial continúe creciendo impulsado por su uso creciente en todos los sectores, incluyendo el eléctrico, industrial, petroquímico y transporte (Mokhatab & Poe, 2012)

La **Tabla 5.19** presenta características del mercado mundial de gas natural.

Tabla 5.19. Características del mercado mundial de gas natural. Fuente: Melton, Hudson, & Ladislav (2015).

Característica	Descripción
Tipo	Regionalizado, comparado con otros combustibles fósiles
Regiones	Mercado de Europa, Asia Pacífico y Norteamérica
Uso /mercados	Industrial, comercial y doméstico, generación eléctrica
Limitantes	Dificultad y costo de transportar gas largas distancias
Transporte	Tubería: principalmente distancias cortas Embarcación: se procesa, enfría y envía a alta presión (costoso en relación al valor de la materia prima)
Prospectiva	Mercado global integrado podría emerger conforme el gas natural licuado es más común y costos de transporte mejoran.
Comercio	Volumen comercializado es 35% del consumo global. Tres cuartos van al Este de Asia, Japón, Corea y Taiwán.

La **Tabla 5.20** muestra indicadores mundiales clave del gas natural en el 2019, mientras que la **Tabla 5.21** muestra cambios clave en los mercados de gas natural (BloombergNEF / International Gas Union / Snam, 2020).

Tabla 5.20. Indicadores mundiales del gas natural en 2019. Fuente: BloombergNEF / International Gas Union / Snam (2020).

Indicador mundial	Valor
Participación del gas natural en la mezcla energética	24.2%
Crecimiento de la demanda	+2.3%
Crecimiento de la oferta	+3.5%
Crecimiento en la comercialización de gas natural licuado	+13%

Indicador mundial	Valor
Cambios en los precios en nodos globales clave	-37%

Tabla 5.21. Cambios porcentuales en los mercados de gas natural en 2019 (interanual). Fuente: BloombergNEF / International Gas Union / Snam (2020).

Región	Demanda	Precio	Oferta	Importación	Exportación
Norteamérica	+3.2	-18 (HH)	+7.5	-6	+18
Europa	+1.2	-38 (TTF)	-6.9	+6	-6
Asia	+4.1	-42 (JKM)	+5.6	+2	+5
Medio Oriente	+3.0		+3.2	+3	+4
Latinoamérica	-2.2		-1.2	-9	-3
África	-3.2		+1.2	-22	-5

HH: Henry Hub

TTF: *Title Transfer Facility*

JKM: *Japan Korea Marker*

El crecimiento drástico de la producción de gas natural de lutitas en Estados Unidos ha repercutido en el mercado global de gas natural. La producción abundante ha disminuido los precios en Estados Unidos aumentando la brecha entre los precios de Norteamérica con Europa y Asia (Mokhatab & Poe, 2012).

En México, la implementación de la Reforma Energética entre 2013-2018 comprendió tres líneas estratégicas: “(1) *continuar la expansión de la infraestructura de transporte y almacenamiento de gas natural; (2) reestructurar la organización industrial para promover el desarrollo de un mercado abierto, eficiente y competitivo; y (3) diseñar e implementar políticas públicas que fortalezcan la seguridad energética*” (SENER, 2019).

No obstante, la presente administración impulsa una situación anterior a la reforma, caracterizada por un sistema de gasoductos operado por PEMEX y por precios regulados por la CRE.

5.5.2.2 Oferta y demanda de gas natural en México

La SENER publica mensualmente un prontuario estadístico que contiene datos en materia de gas natural de manera resumida y accesible (SENER, 2020c). Dicho documento brinda datos actualizados y útiles relacionados con el mercado de gas natural en México.

La **Figura 5.15** muestra la oferta y demanda de gas natural en México.

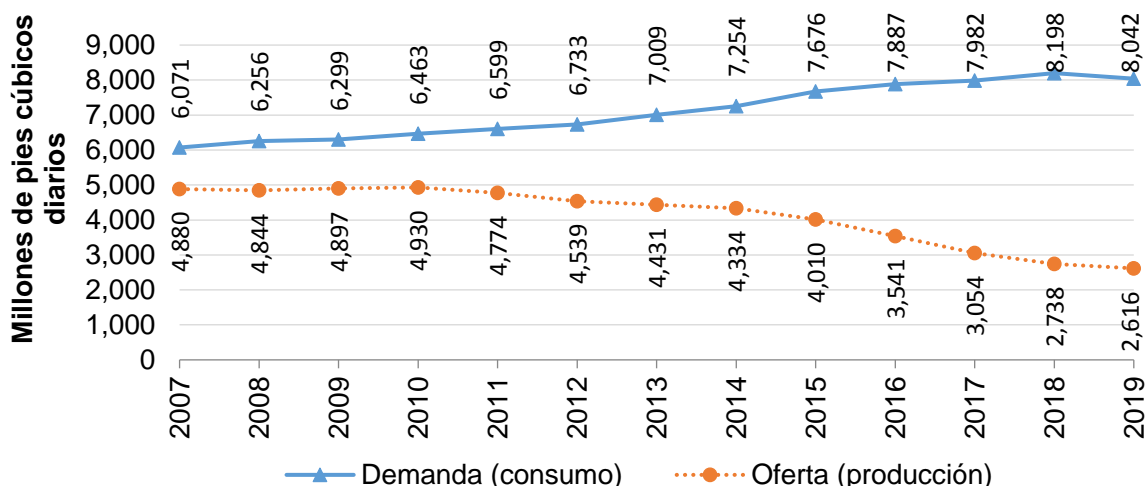


Figura 5.15. Oferta y demanda de gas natural en México, 2007-2019. Fuente: SIE (2020).

Durante el periodo 2007-2019, la mayor oferta de gas natural se presenta en 2010 con 4,930 millones de pies cúbicos diarios. Desde el 2010 hasta el 2019 la oferta ha caído 2,314 millones de pies cúbicos, una disminución del 47%. Por su parte, la demanda de gas natural en México ha aumentado en México en 1,971 millones de pies cúbicos del 2007 al 2019, un incremento del 32%.

Las importaciones de gas natural satisfacen la creciente demanda interna. La **Figura 5.16** muestra las importaciones de gas natural en México y el porcentaje que representa respecto al consumo del 2007 al 2019.

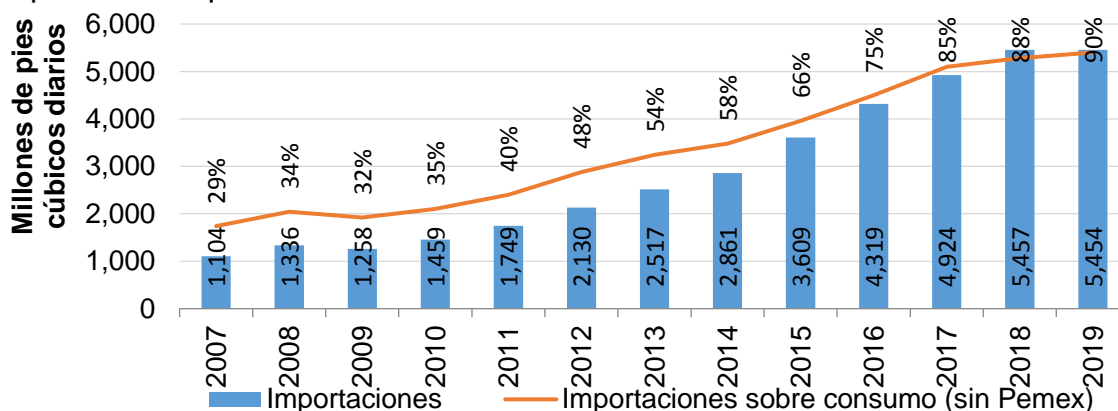


Figura 5.16 Importaciones y porcentaje respecto al consumo de gas natural en México, 2007-2019. Fuente: SIE (2020).

En 2007, la importación de gas natural fue de 1,104 millones de pies cúbicos diarios que representaban el 29% del consumo nacional. En 2012 pasó a 48% y en 2017 al 85%. En 2019, las importaciones de gas natural representaron 90% del consumo nacional (sin considerar el consumo de Pemex).

La **Figura 5.17** muestra que en 2019 México importó más del 94% del gas natural de un solo país (Estados Unidos). En 2019, México fue el país con el mayor porcentaje de dependencia en las importaciones a un solo país entre los países con alta dependencia en las importaciones de gas natural.

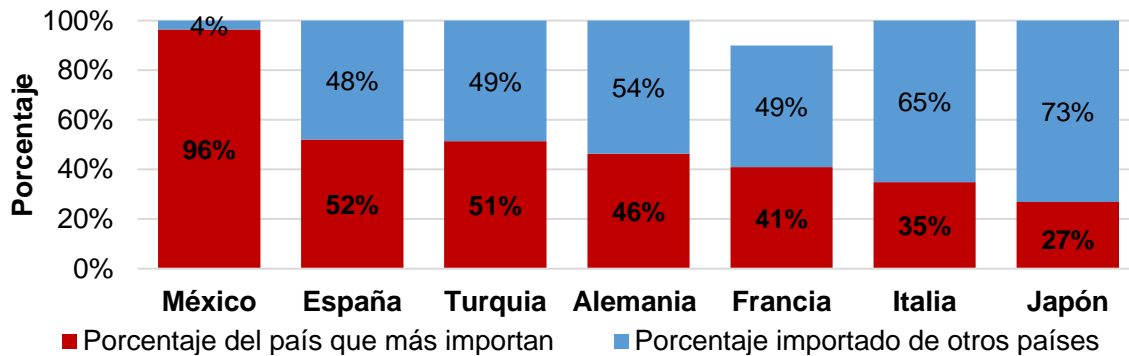


Figura 5.17 Participación porcentual en 2019 de las importaciones en países importadores de gas natural Fuente: CNH (s/f).

México importa más gas natural que el que produce debido a la demanda creciente para los diferentes usos, siendo uno de los principales la generación de electricidad. La **Figura 5.18** presenta la participación de combustibles en la generación de energía eléctrica de diversos países.

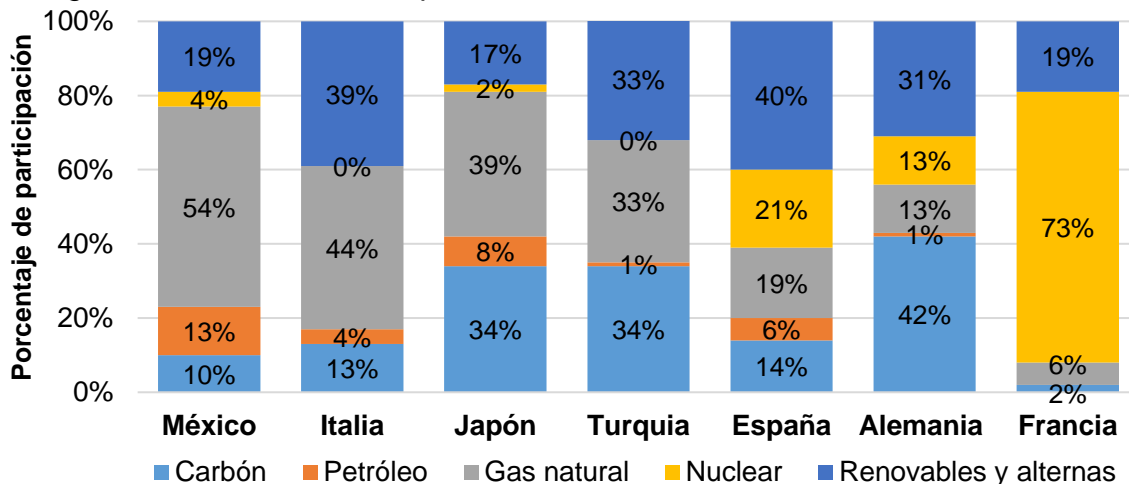


Figura 5.18. Generación de energía eléctrica según combustible. Fuente: IEA (2019) y (SENER (2019)).

El 54% de la generación de electricidad en México usa gas natural, el mayor porcentaje entre los países dependientes del consumo de gas natural.

5.5.2.3 Precios del gas natural en México

El gas natural es el combustible fósil más económico en comparación con otros que se usan en la industria y generación eléctrica (**Figura 5.19**).

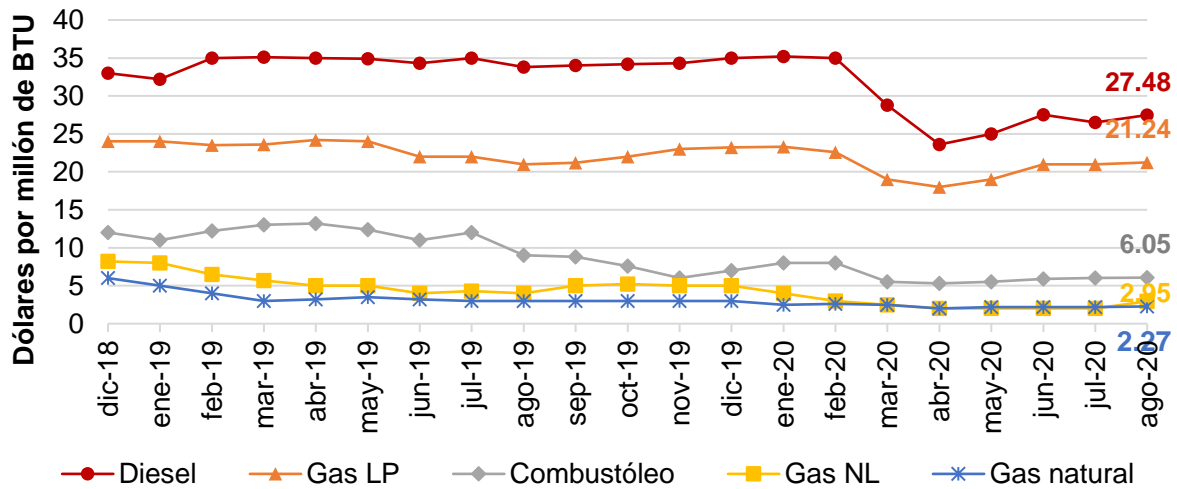


Figura 5.19 Precios de combustibles. Fuente: SENER (2020d).

La **Figura 5.20** muestra la comparación de los precios del índice de referencia Henry Hub y VPM Golfo (Zona 3). Este último considerando que a partir de octubre de 2018 se consideran los precios de la Zona de Transporte 3 y se comparan con los precios publicados para la Zona Golfo hasta septiembre de 2018.

El 29 de julio de 2020 la Comisión Reguladora de Energía aprobó la resolución RES/996/2020 que deja sin efectos el acuerdo número A/036/2017 que obligaba a Pemex a publicar los precios de venta de primera mano del gas natural. Ya en diciembre de 2018 la CRE había eliminado la regulación asimétrica a la que estaba sujeta Pemex, para limitar su poder dominante en el mercado.

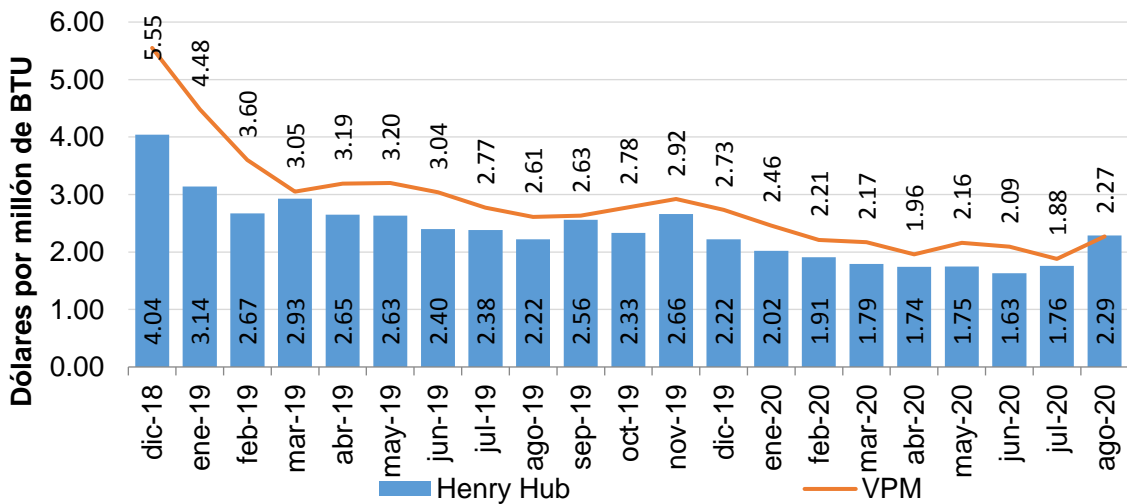


Figura 5.20 Comparativo precios Henry Hub y VPM, diciembre 2018- agosto 2020. Fuente (SENER, 2020d).

México tiene dos referencias del precio del gas natural, la Venta de Primera Mano (VPM) de Pemex y el Índice de Referencia Nacional de Precios de Gas Natural al Mayoreo (IPGN) publicado por la CRE. La **Figura 5.21** muestra la comparación del VPM y el IPGN en dólares por millones de BTU.

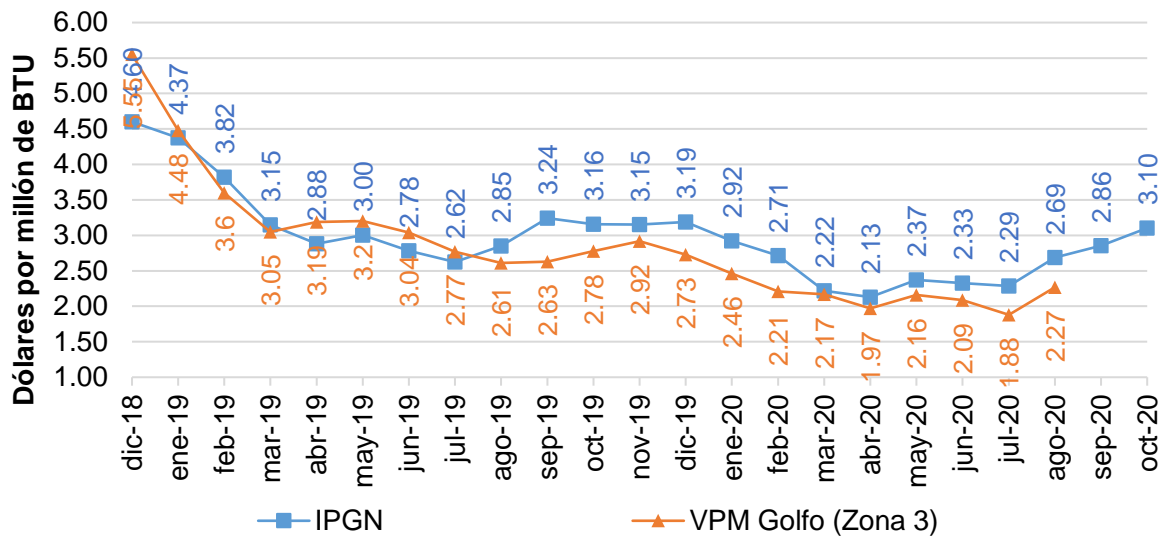


Figura 5.21 Comparación de VPM Golfo e IPGN. Fuente: SENER (2020d).

El IPGN refleja el promedio de los precios de las transacciones realizadas de manera libre y voluntaria por comercializadores en el mercado mexicano. El índice incluye el costo por logística, entre otros. Mientras que el VPM considera este esquema de comercialización de Pemex TRI en puntos de inyección (**Tabla 5.22**).

Tabla 5.22. Zonas de transporte y puntos de inyección en el esquema de Ventas de Primera Mano. Fuente: PEMEX (2020).

Zona	Puntos de inyección	
Zona 3	Kinder Morgan Border Tennessee Gas Pipeline Monclova Texas Eastern Transmission Gas Pipeline	Energie Transfer Inyburgos Ramones.
Zona 4	LNG Altamira Camponejo	Mareógrafo
Zona 5	CPG Poza Rica / Raudal	
Zona 6	El Castillo	
Zona 7	Playuela PEP / Mendoza	Matapionche
Zona 8	Cactus 100 Cactus / Nuevo Pemex	La Venta
	Gloria a Dios	

Zona	Puntos de inyección
	Kinder Morgan Monterrey
	Naco

Desde 2018, la Comisión Reguladora de Energía publica índices regionales de precios de referencia de gas natural correspondientes a seis regiones. La **Figura 5.22** muestra el precio de las seis regiones de diciembre de 2018 a octubre de 2020.

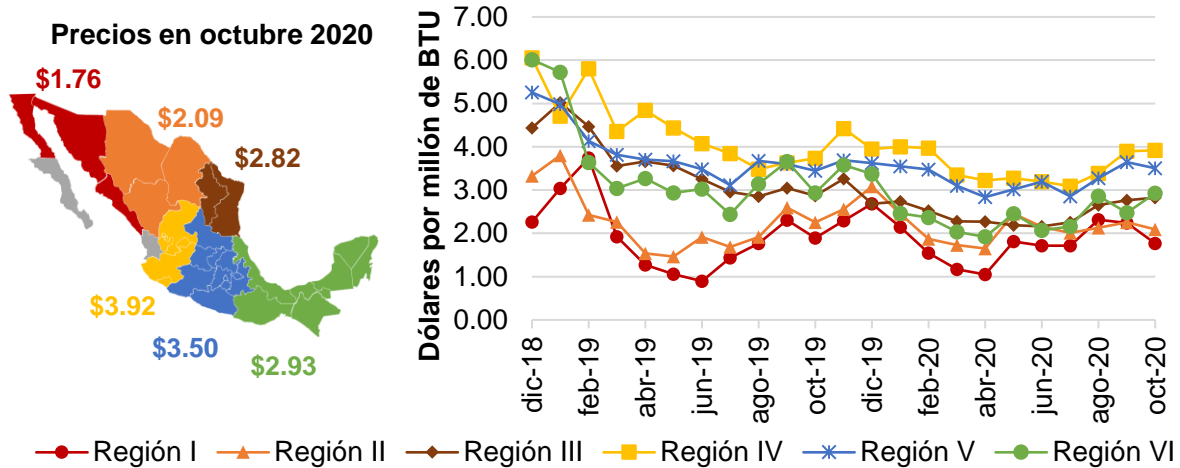


Figura 5.22 Índices de referencia de precios de gas natural por regiones, diciembre 2018 – octubre 2020. Fuente: Elaboración propia con información de CRE (2020).

Los precios del gas natural en México reflejan los cambios en el mercado de Estados Unidos debido a la fuerte dependencia de las importaciones (**Figura 5.23**).

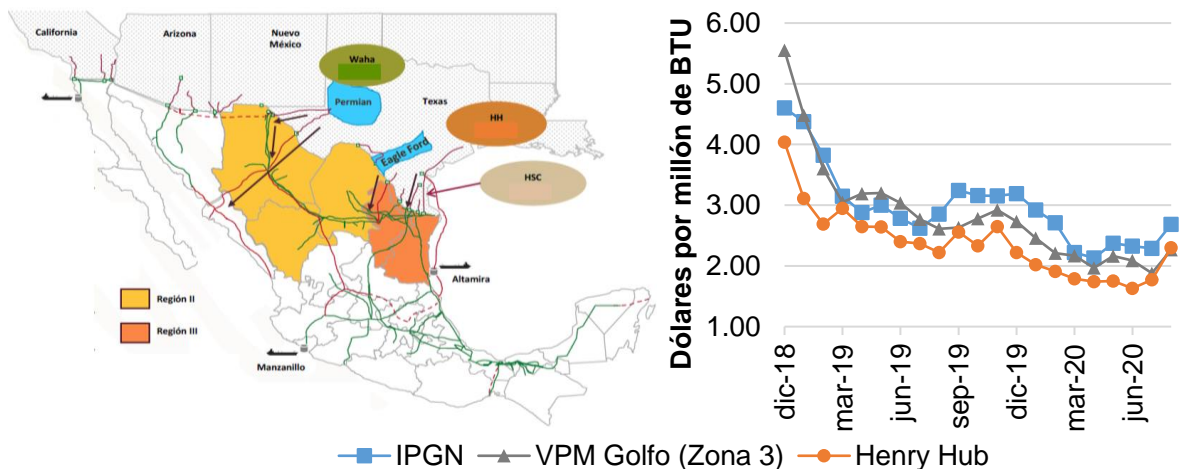


Figura 5.23 Comparación de precios de referencia en México y EE.UU. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2020d) y EIA (2020b).

5.5.2.4 Precios del gas natural: referencias internacionales

La disponibilidad de gas natural en las distintas regiones del mundo también provoca una diferencia drástica en precios. La **Figura 5.24** muestra referencias de precios de gas natural licuado en el mundo.

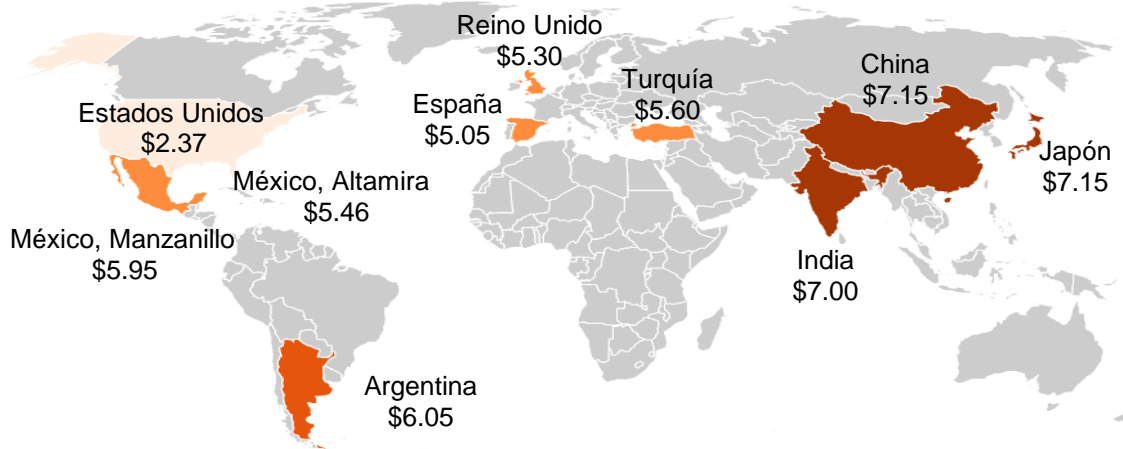


Figura 5.24 Referencias de precios de gas natural licuado en el mundo en dólares por millones de BTU, noviembre de 2020. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2020d).

La **Figura 5.25** muestra la producción y precio del gas natural de Estados Unidos.

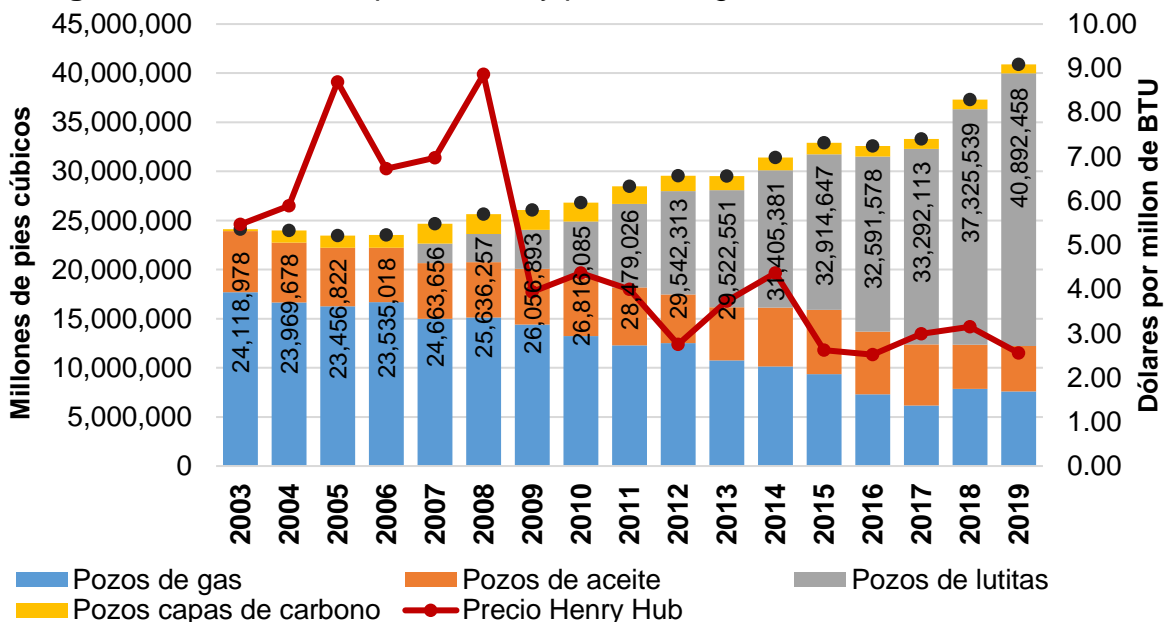


Figura 5.25 Producción bruta de gas natural y precio de referencia Henry Hub en Estados Unidos, 2003-2019. Fuente: Elaboración propia con información de EIA (2020c).

La **Figura 5.25** muestra que la producción de gas natural de lutitas afecta el precio del gas natural. El incremento en la disponibilidad de gas natural reduce su precio. Si bien los precios bajos benefician a los consumidores, los productores perforan menos pozos dado que la ganancia no es tan alta.

Los productores de gas natural de lutitas no pueden costear producir gas a precios bajos. Si los precios del gas natural no aumentan, los *plays* de gas de lutitas tienden a producir menos gas. Por ello, el aumento en el precio del gas natural debe ocurrir para que la economía continúe prosperando.

La **Figura 5.26** muestra los precios de equilibrio para los *plays* de lutitas más grandes de Estados Unidos.

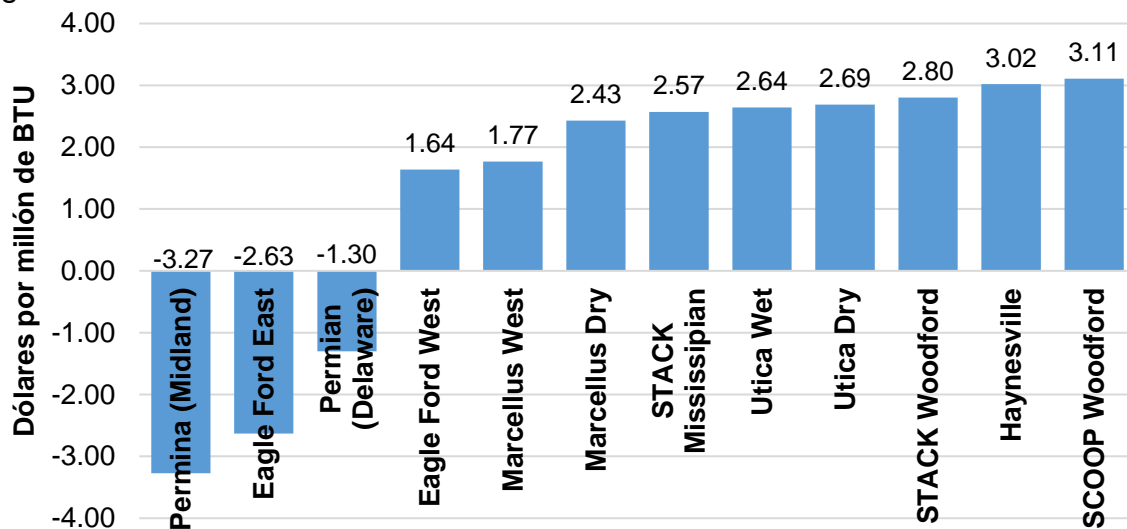


Figura 5.26. Precios de equilibrio de gas en cabeza de pozo por cuenca.
Fuente: Enerdynamics (s/f).

En general, la producción de gas natural de lutitas depende principalmente de dos factores económicos: precio actual del mercado y precio de equilibrio del gas.

5.5.3 Diagnóstico de la tecnología

La producción comercial de gas y petróleo de lutitas ha sido posible por el progreso en la tecnología, incluyendo la perforación horizontal, fractura hidráulica, fluidos de perforación, entre otras. Diversos autores detallan el progreso histórico de dichas tecnologías en Estados Unidos (Soeder, 2018)

La descripción de las actividades de exploración y producción de gas de lutitas es necesaria para entender las tecnologías involucradas. La **Tabla 5.23** presenta una descripción breve de las etapas que conforman el proceso de exploración del gas de lutitas.

Tabla 5.23. Etapas de exploración de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).

Etapas		Descripción
1	Reconocimiento de los recursos	Adquisición de la tierra, sísmica segura y autorizaciones de ubicaciones de perforación, acuerdos de uso de tierra. Investigaciones geoquímicas y geofísicas primarias en áreas objetivo.
2	Evaluación inicial de la perforación	Pruebas sísmicas para obtener las especificaciones geológicas del gas contenido en las formaciones (fallas o discontinuidades) que podrían afectar el potencial del yacimiento. Perforación vertical primaria para estimar las características del gas, generalmente con núcleos.
3	Proyecto piloto de perforación	Perforación inicial de pozos para distinguir las características del yacimiento y optimizar los métodos de terminación (que pueden incluir proceso de multifractura). Perforación consecutiva de pozos verticales en regiones adicionales de zonas de gas de lutitas potenciales. Pruebas de producción primaria.
4	Pruebas de producción piloto	Perforación de pozos multi-horizontales y optimización de las técnicas de terminación con pruebas microsísmicas Pruebas piloto de producción. Desarrollos de campo con el diseño de sistemas de tuberías.
5	Desarrollo comercial	Decisión comercial para iniciar. Permisos gubernamentales para la construcción de plantas de gas, tuberías y perforación.

La **Tabla 5.24.** presenta una descripción breve de las etapas que conforman el proceso de producción del gas de lutitas.

Tabla 5.24. Etapas de producción de gas de lutitas. Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).

Etapas		Descripción
1	Construcción del camino y plataformas del pozo	Se preparan caminos de acceso y el área que brinde una base firme para la plataforma de perforación, tanques de almacenamiento y camiones de bombeo y control.

Etapa		Descripción
2	Perforación	Se perfora horizontalmente para extraer el gas de lutitas perforando perpendicularmente hacia abajo. Un pozo típico se perfora en varias etapas empezando por una broca de diámetro grande y después de menor diámetro conforme se avanza la perforación.
3	Recubrimiento y perforación	Se inserta una cubierta anidada de acero en cada porción perforada del pozo para proteger el agua subterránea y mantener la integridad del pozo. Se coloca cemento dentro del espacio vacío entre la cubierta y la estructura mineral inmediata. La cubierta adyacente a la parte horizontal del pozo se perfora con explosivos para permitir el flujo de fluidos de fractura fuera del pozo y dentro de la lutita.
4	Fractura hidráulica y terminación	Se inserta una pistola de perforación para crear un agujero en la cubierta cemento y la roca de lutita objetivo. Estos agujeros conectan el pozo y el yacimiento. Se remueve la pistola y en condiciones controladas se bombea a alta presión una gran cantidad de agua con diversos compuestos químicos (fluido hidráulico) dentro del pozo para formar fracturas en la roca del yacimiento.
5	Producción, abandono y recuperación	La vida productiva de los pozos de gas de lutitas no se ha desarrollado completamente por estar en sus etapas iniciales. Los pozos de gas de lutitas tienen una declinación más rápida que los de gas convencional. La cabeza de pozo se remueve del lugar y el agujero de pozo se llena con cemento cuando el pozo no produce a tasas rentables. La superficie se recupera y el sitio se abandona.

La siguiente sección describe brevemente las tecnologías principales que se usan en la exploración, perforación y producción de gas de lutitas, así como sus ventajas y desventajas.

5.5.3.1 Tecnologías de exploración

La **Tabla 5.25** presenta las tecnologías y técnicas usadas en la industria para la exploración de gas de lutitas.

Tabla 5.25 Tecnologías de exploración de yacimientos de gas de lutitas.
Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).

Tecnología	Descripción	Ventajas y desventajas
Estudios sísmicos	Usa gran maquinaria en la superficie que crea una vibración que manda ondas sísmicas a través de la tierra. Las ondas reverberan distinto en las capas de la tierra y se registran por geófonos en la superficie. Dependiendo de cómo se reflejan y cuanto se toman en regresar se crean modelos 2D y 3D de la tierra. Equipo: vibradores sísmicos y geófonos	Sísmica 2D es más económica que la 3D y 4D, pero no da tanta información como la 3D o 4D. Sísmica 3D despliega más información, pero es más costosa.
Registros geofísicos	Método que consiste en perforar el subsuelo y remover un núcleo muestra que se analiza en un laboratorio. El análisis de núcleos permite identificar cualquier hidrocarburo atrapado y propiedades básicas de la roca (porosidad, permeabilidad y mojabilidad) Equipo: plataforma de perforación terrestre	Método de exploración efectivo, el problema es determinar dónde perforar la muestra núcleo.

5.5.3.2 *Tecnologías de perforación*

La **Tabla 5.26** presenta las tecnologías y técnicas usadas en la industria para la perforación de pozos de gas de lutitas.

Tabla 5.26 Tecnologías de perforación de yacimientos de gas de lutitas
Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).

Tecnología	Descripción	Ventajas y desventajas
Perforación direccional	Consiste en controlar la dirección, ángulo y desviación de la trayectoria vertical del agujero para alcanzar un objetivo o locación específica del subsuelo. Los tres tipos primarios de pozos direccionales son: horizontales, multilaterales y alcance extendido.	Incrementa la productividad y zona productiva del yacimiento, disminuye costos asociados con la misma cantidad de productividad, menor impacto ambiental. Permite perforar en fallas difíciles, esquivar

Tecnología	Descripción	Ventajas y desventajas
		obstrucciones y liberar pozos descontrolados.
	Pozos horizontales: pozos de alto ángulo con una inclinación mayor de 80°. Se perforan para estimular la productividad en rocas de baja permeabilidad y usan fractura hidráulica para producir permeabilidad artificial.	La perforación de pozos verticales no puede alcanzar tantos objetivos como la perforación direccional. Requiere personal adicional para la operación.
	Pozos multilaterales: nuevo tipo de tecnología de perforación en la cual varias ramas de pozo emanan del mismo agujero. Se usa para alcanzar diferentes objetivos.	Pozos multilaterales pueden ser técnicamente desafiantes. Posee riesgos de seguridad adicionales

La selección del lodo de perforación es clave para asegurar el éxito de la operación. El fluido de perforación mantiene la estabilidad del agujero, enfría y lubrica de la broca, controla presiones de la formación y trasmite energía hidráulica al equipo de perforación (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

5.5.3.3 *Tecnologías de estimulación*

La **Tabla 5.27** presenta las tecnologías y técnicas usadas en la industria para la estimulación de pozos de gas de lutitas.

Tabla 5.27 Tecnologías de estimulación de yacimientos de gas de lutitas
Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).

Tecnología	Descripción	Ventajas y desventajas
Fractura hidráulica	Técnica de estimulación de pozos en la que la recuperación de aceite y gas mejora mediante la creación de fracturas en la formación rocosa usando inyección de fluidos de fractura a alta presión. Generalmente consta de tres etapas: (1) inyección del fluido dentro de la formación, (2)	Existen varios beneficios de fracturar como método de producción de gas y aceite: acceder a reservas de gas y aceite de lutitas que no fluirían naturalmente, incrementa la cantidad de recursos, extiende la vida de un campo.

Tecnología	Descripción	Ventajas y desventajas
	<p>continuación de la inyección para propagar las grietas y (3) adición de agente apuntalante en la inyección para rellenar las grietas y evitar el cierre de las fracturas con la reducción de la presión.</p> <p>Equipo: varía según el tipo de pozo. Comúnmente se usan unidades de bombeo y mezclado, tanques de almacenamiento de compuestos químicos, unidades de monitoreo, entre otros.</p>	<p>Los riesgos son económicos y ambientales: incremento de emisiones del equipo de bombeo y camiones que realizan las operaciones, incremento de emisiones del venteo, emisiones no intencionales o derrames de compuestos químicos usados. En pozos superficiales o cercanos a suministros de agua subterránea podrían causar riesgos ambientales y a la salud</p>

En la fractura hidráulica, la selección del fluido de fractura para el diseño del tratamiento considera: (1) temperatura del yacimiento, (2) presión del yacimiento, (3) valor esperado de la longitud media de fractura y (4) sensibilidad al agua (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

Los apuntalantes son clave en el proceso de fractura hidráulica. Éstos son pequeñas partículas suspendidas en la base del fluido de fractura. Se usan para mantener las fracturas después del tratamiento y formar conductos para el flujo de fluido al pozo. Los más comunes son arena sílice, arena tratada y cerámicos (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

5.5.3.4 Aspectos tecnológicos de la producción de gas de lutitas

La tecnología permite desarrollar y mejorar la sustentabilidad del aprovechamiento de los recursos no convencionales. La **Figura 5.27** muestra aspectos característicos relacionados con el proceso de producción de gas de lutitas (API, 2017)

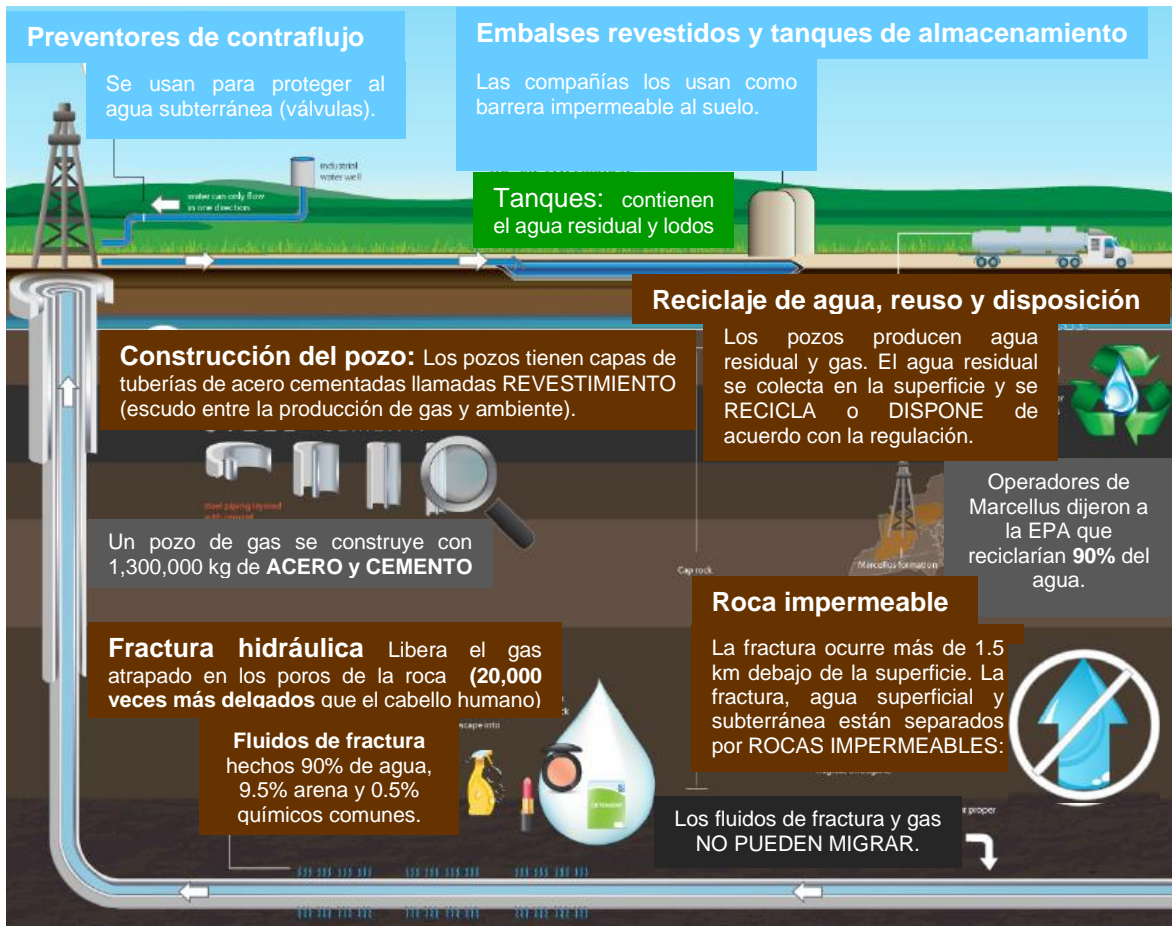


Figura 5.27. Consideraciones relacionadas con la fractura hidráulica. Fuente: Modificado de: API (2017).

El Instituto Americano de Petróleo (API) indica que no ha habido casos confirmados de contaminación de agua subterránea de la misma fractura hidráulica en los al menos 2 millones de pozos fracturados en los últimos más de 65 años (API, 2017).

5.5.3.4.1 Construcción del pozo

Si bien la fractura hidráulica es un proceso que requiere supervisión y vigilancia, la integridad mecánica de los pozos es fundamental para cuidar al ambiente. El diseño y construcción apropiada de pozos permite asegurar su integridad mecánica y producir gas y petróleo con seguridad ambiental.

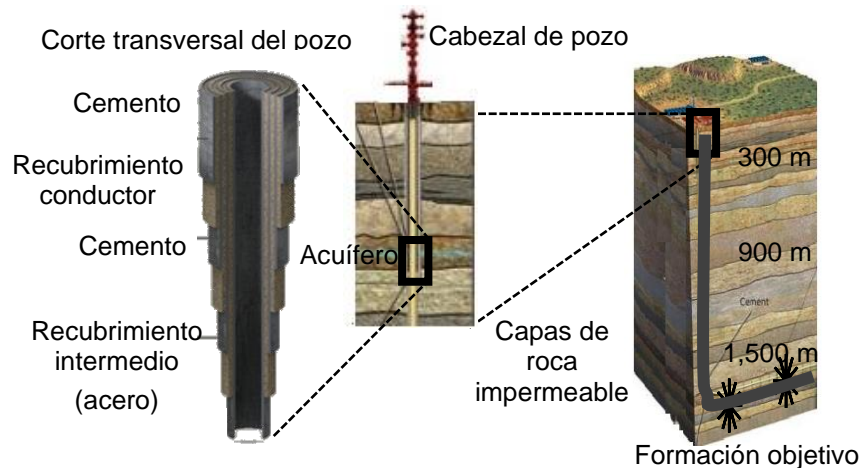


Figura 5.28 Integridad mecánica de un pozo con fractura hidráulica. Fuente: Elaboración propia con información de API (2017).

La **Figura 5.28** muestra que un pozo de gas típico se construye con capas redundantes de acero y cemento, llamadas revestimiento. Comúnmente, los acuíferos se aíslan del pozo con varias capas de tubos de acero y cemento los cuales forman las barreras a fugas o flujo durante la perforación, fractura o producción (API, 2017; King, 2012). Por lo que la construcción adecuada del pozo provee protección al agua subterránea.

5.5.3.4.2 Fractura hidráulica: profundidad

La fractura hidráulica es una técnica que consiste en inyectar a presión agua, arena y un poco de aditivos para crear canales en la roca y liberar el gas y petróleo atrapado. La técnica inició en los años 50's, se ha probado y perfeccionado con más de un millón de pozos perforados en los últimos 60 años. Los avances han permitido producir más gas natural y reducir el impacto al medio ambiente.

La **Figura 5.29** muestra que la fractura hidráulica ocurre cientos de metros alejada del nivel freático: la separación es casi 10 veces la Torre Latinoamericana. Los yacimientos no convencionales en México tienen un gran espesor: 48 metros para la formación Eagle Ford de la cuenca Burgos y 60 metros para la formación Pimienta de la Cuenca de Tampico (CNH, s/f).

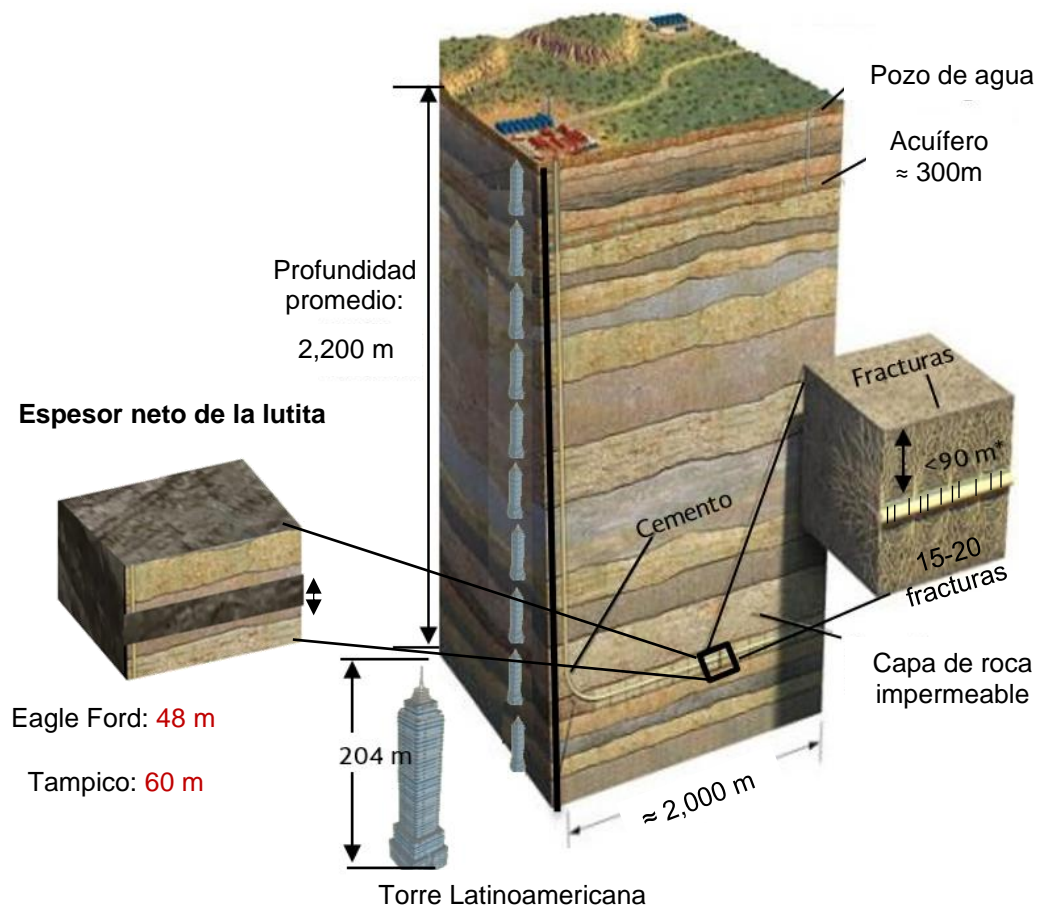
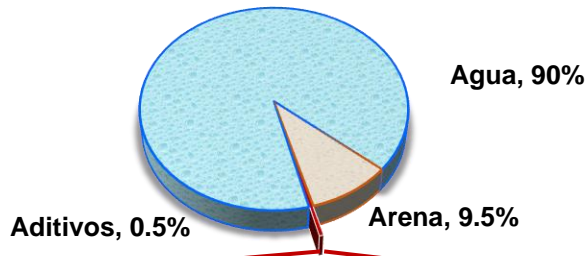


Figura 5.29. Distancia a escala de la fractura hidráulica. Fuente: Elaboración propia con información de CNH (s/f).

5.5.3.4.3 Compuestos químicos

La **Figura 5.30** muestra los aditivos usados para tratar la formación efectivamente. En sí, el fluido produce la fractura y la arena la mantiene abierta, además usa varios compuestos químicos comunes (la concentración y cantidad varía, pero es menor de 0.5% el volumen).



Compuesto	Propósito	Aplicación común
Ácidos	Disolver minerales	Limpiador de albercas
Cloruro de sodio	Retrasa rompimiento de cadenas de polímeros de geles	Sal de mesa
Poliacrilamida	Minimiza la fricción entre fluidos	Tratamiento de agua y acondicionador de suelos
Etilenglicol	Previene depósitos de sarro en tubería	Limpiadores del hogar, anticongelantes para autos
Sales de borato	Mantiene viscosidad del fluido	Detergente de ropa, jabón de manos, cosméticos
Carbonato de Sodio / Potasio	Mantiene efectividad de otros compuestos, p. ej. reticulantes	Detergente, jabón, suavizante, vidrio, cerámicos
Glutaraldehído	Elimina bacterias en el agua	Desinfectante, esterilizante de equipo médico y dental
Goma guar	Espesa agua para suspender la arena	Espesante en cosméticos, helados, pasta dental y salsas
Ácido cítrico	Previene la precipitación de óxidos metálicos	Aditivo en comida y bebidas



Figura 5.30 Composición volumétrica del fluido para fractura y detalle de los compuestos químicos de sus aditivos. Fuente: Modificado de API (2017).

5.5.3.4.4 Reciclaje de agua, reuso y disposición

El agua producida de pozos fracturados de gas y aceite es a menudo, pero no siempre, considerada un residuo que se debe manejar adecuadamente; por ello se confina en recipientes herméticamente cerrados para (EPA, 2016): (a) inyectarse en pozos clase II, (b) Reusarse en operaciones de fractura, (c) tratarse o (d) disponerse en fosas de evaporación y percolación (**Figura 5.31**).

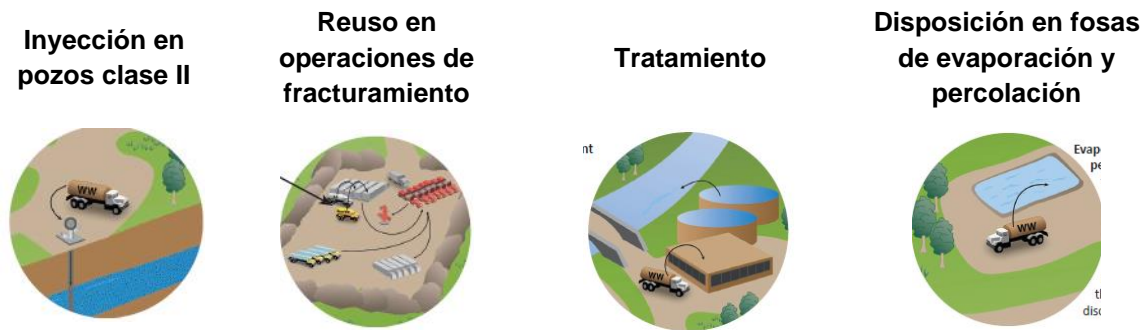


Figura 5.31 Manejo del agua de la fractura hidráulica. Fuente: Modificado de EPA (2016).

El manejo del agua de la fractura hidráulica es necesario porque se prohíbe descargarla a mantos acuíferos, corrientes y cuerpos de agua superficiales. Para el caso de la disposición en pozos, se requiere monitorear la presión en los pozos de disposición y fallas geológicas preexistentes para prevenir sismicidad inducida.

Las tecnologías de tratamiento y manejo de fluidos producidos buscan reducir el uso de agua fresca y la disposición de los fluidos producidos. Éstas incluyen el tratamiento en campo y reciclado, reuso directo con mezclado, filtración, precipitación química, electrocoagulación, desalinización, e instalaciones de tratamiento centralizadas. Los costos varían ampliamente por método (Tuft, 2015).

5.5.3.5 Tecnologías de exploración y extracción: costos

La **Tabla 5.28** presenta los costos asociados con las tecnologías y técnicas usadas en la industria para la exploración de gas de lutitas.

Tabla 5.28 Costos asociados con tecnologías de exploración de yacimientos de gas de lutitas Fuente: Elaboración propia con información de Zendehboudi & Bahadori (2018).

Tecnología	Costos y otras consideraciones
Estudios sísmicos	<ul style="list-style-type: none"> Costo de imágenes sísmicas: \$100,000 dólares por milla cuadrada.

Tecnología	Costos y otras consideraciones
	<ul style="list-style-type: none"> Costo del modelo sísmico de un área: \$1 a \$40 mdd.
Registros geofísicos	Pozos preliminares para obtener muestras de núcleos: <ul style="list-style-type: none"> Toman entre 14 -35 días \$150-\$200 dólares por pie lineal Costo total de un pozo puede ser hasta 3 mdd.
Perforación	Pozos preliminares para obtener muestras de núcleos: <ul style="list-style-type: none"> Toma aproximadamente 60 días Costo aproximado de \$15 millones de dólares en tierra. Costos y tiempos varían según el ambiente y tipo de pozo. Costo de los pozos horizontales puede ser hasta tres veces más por pie lineal que perforar un pozo vertical.

Las instalaciones procesadoras de gas se construyen normalmente en sitio, dónde ocurre la producción del gas natural de lutitas. En Estados Unidos, el costo promedio de producción típico es entre 4 y 6 dólares por millón de pie cúbico. La **Figura 5.32** muestra el costo de producción en diferentes plays de gas de lutitas en Estados Unidos por millón de pie cúbico (mpc).

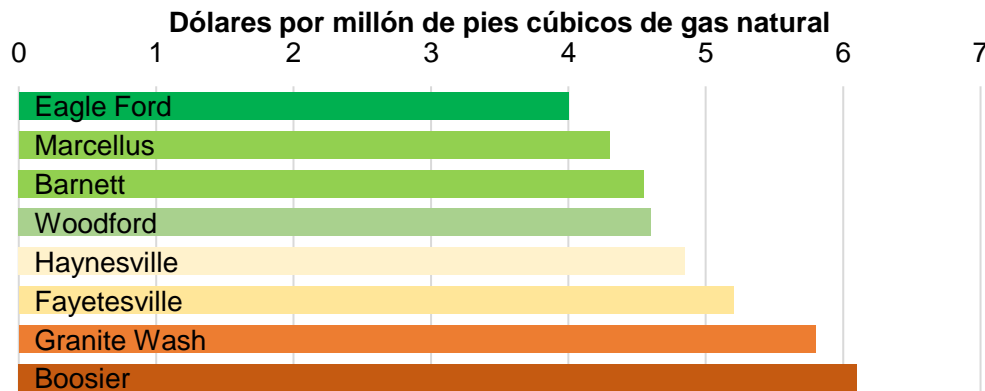


Figura 5.32. Costo de producción de cada *play* de gas en los Estados Unidos. Fuente: (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

La **Tabla 5.29** muestra costos estimados de proyectos de gas de lutitas en Estados Unidos.

Tabla 5.29 Costos estimados de proyectos de gas de lutitas. Fuente: Zendehboudi & Bahadori (2018).

Tecnología	Millones de dólares
Costo de perforación por pozo	4.0
Conexiones y colectores por pozo	0.15
Tubería	250
Instalación procesadora de gas	600

Costos operacionales	
Instalación de producción	1% de costos de capital
Tuberías	1% de costos de capital
Planta de procesamiento	2.5% de costos de capital
Todos los costos inflados por 2.5% por año 100% interés de trabajo e ingreso neto	

5.5.3.6 Alternativas tecnológicas: uso de agua

La **Tabla 5.30** presenta alternativas tecnológicas en el uso de agua en proceso de implementación en la perforación, terminación y producción de lutas (Tuft, 2015).

Tabla 5.30. Alternativas tecnológicas en el uso de agua. Fuente: Elaboración propia con información de Tuft (2015).

Alternativa tecnológica	Descripción
<i>Aditivos de fluido de fractura “verdes” o no tóxicos</i>	Impulsados por las preocupaciones de la composición de los fluidos de fractura y requerimientos de transparencia.
<i>Alternativas al agua fresca en el proceso de fractura</i>	Fluidos de retorno reciclados (mezclados en varias proporciones con agua fresca), dióxido de carbón, nitrógeno, etano, propano, aguas industriales y aguas ácidas de descarga de minas
<i>Configuraciones de pozos y plataformas de pozos</i>	Pozos multilaterales que reducen el volumen de fluido requerido, con ventajas económicas en reducir costos de mano de obra, manejo de agua y transporte en camiones.
<i>Terminaciones de pozos con emisiones reducidas (“verdes”) o circuito cerrado</i>	Terminaciones para manejar los fluidos de retorno y minimizar el venteo de metano a la atmósfera.
<i>Técnicas químicas para el tratamiento de fluidos producidos</i>	Uso de técnicas basadas en gradientes de concentración a través de una membrana semipermeable, incluyendo microfiltración cerámica, membrana de ultrafiltración, destilación membranal, ósmosis forzada y procesos electroquímicos.

Las innovaciones anteriores están en diversas fases de madurez tecnológica. Los aspectos económicos y regulatorios impulsarán el desarrollo de estas innovaciones. Los avances en las tecnologías de tratamiento de agua responden a las demandas de la industria de lutas. Tuft (2015) describe a detalle las tecnologías emergentes en fluidos producidos como la microfiltración cerámica, ultrafiltración membranal,

destilación membranal, ósmosis forzada y procesos electroquímicos (electrodiálisis, electrodiálisis invertida, electrodesionización y desionización capacitiva).

5.5.4 Diagnóstico de la cadena de valor

La cadena de suministro del gas natural de lutitas incluye pozos, red de colección, pretratamiento, extracción de líquidos del gas natural e instalaciones de fraccionamiento, tuberías de transporte de gas y líquidos e instalaciones de almacenamiento (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

La infraestructura requerida para el desarrollo del gas natural de lutitas es similar a la infraestructura de colección y procesamiento de gas convencional. No obstante, la principal diferencia es el tipo de contaminantes de gas, componentes y agua producida de los pozos (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

La CNH presenta una cadena de valor del gas natural en México con cinco etapas: (1) exploración, (2) extracción, (3) procesamiento, (4) logística (transporte, almacenamiento y distribución); así como (5) comercialización (CNH, 2018f).

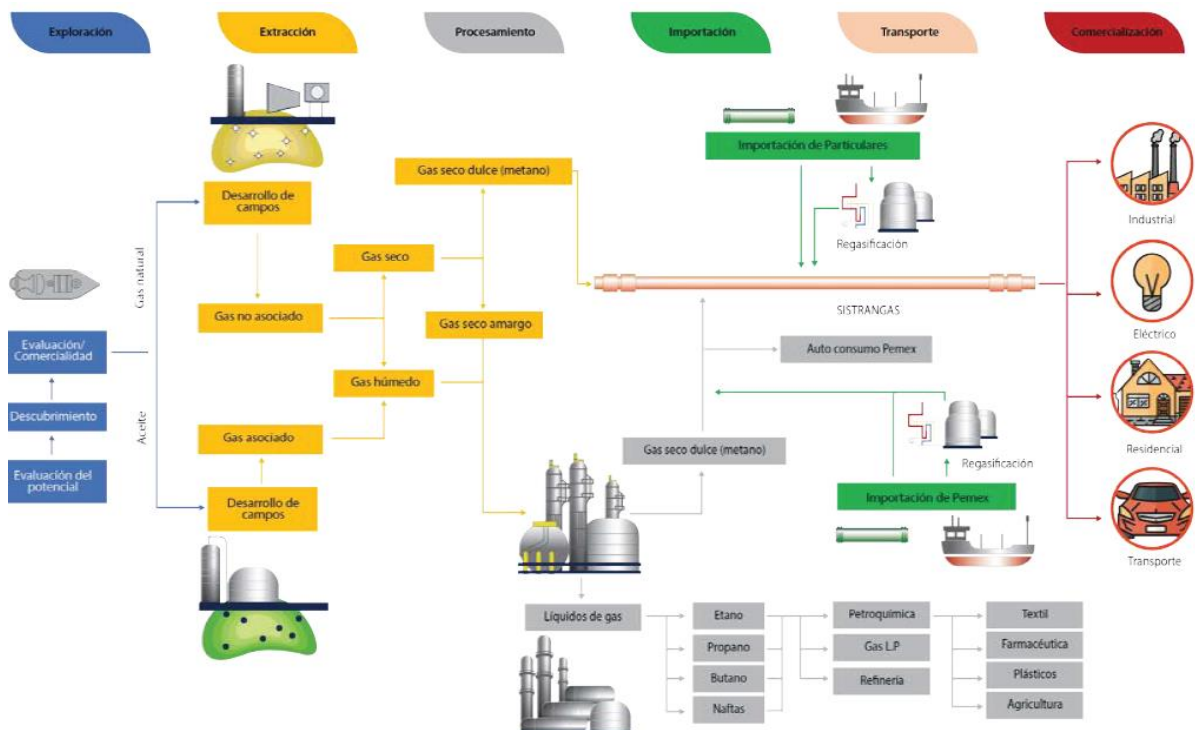


Figura 5.33. Cadena de valor del gas natural en México. Fuente: CNH (2018f).

En las siguientes secciones se presenta información relevante de cada una de las cinco etapas de la cadena de valor.

5.5.4.1 Exploración

5.5.4.1.1 Participantes y actividades

Las actividades de exploración de hidrocarburos que incluye al gas natural se realizan en México mediante asignaciones a empresas productivas del Estado o contratos con éstas o con particulares (SENER, 2018i).

Empresas productivas del Estado: asignaciones

Pemex es la única empresa productiva del Estado que a través de la empresa productiva subsidiaria Pemex Exploración y Producción realiza actividades de exploración mediante asignaciones. La **Tabla 5.31** muestra datos generales de las 71 asignaciones de exploración de Pemex, cuyos nombres se indican en la **Tabla 5.33**.

Tabla 5.31. Pemex. Asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

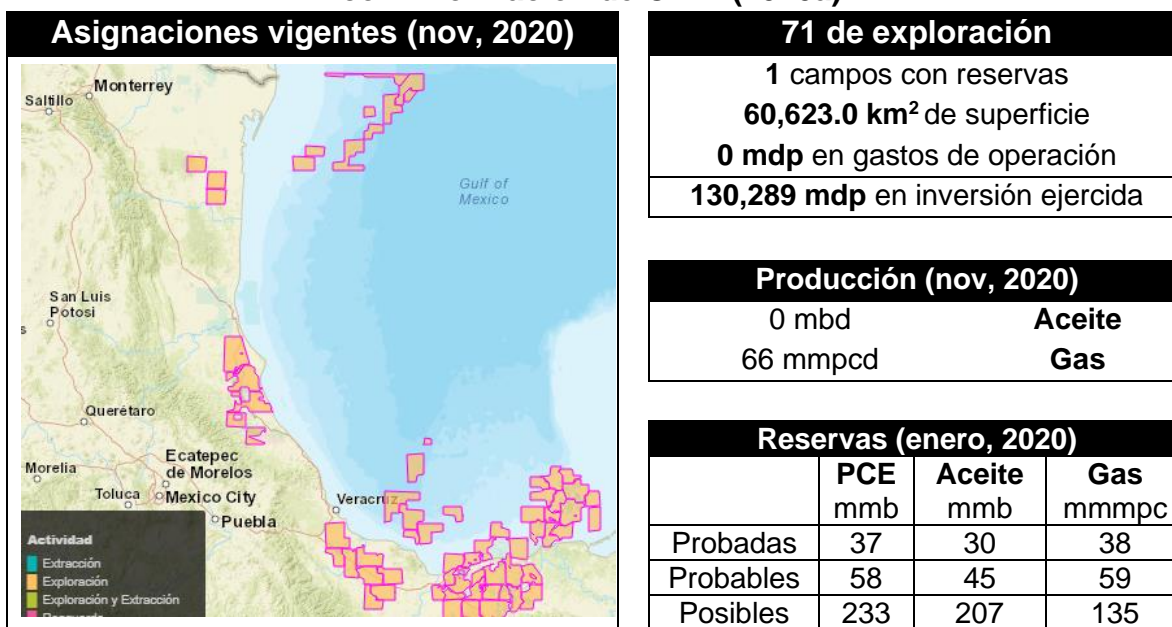


Tabla 5.32. Pemex Exploración y Producción. Asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

#	Asignación	#	Asignación	#	Asignación
1	AE-0018-3M - Okom - 01	25	AE-0129 - LLAVE	49	AE-0155 - UCHUKIL
2	AE-0045-6M - Agua Dulce - 04	26	AE-0130 - LLAVE	50	AE-0156 - UCHUKIL
3	AE-0053-4M - Mezcalapa - 03	27	AE-0131 - LLAVE	51	AE-0157 - UCHUKIL
4	AE-0060-3M - Mezcalapa - 10	28	AE-0132 - CUICHAPA	52	AE-0158 - UCHUKIL
5	AE-0109 - Cinturón Subsalino - 13	29	AE-0133 - CUICHAPA	53	AE-0159 - UCHUKIL
6	AE-0110-2M - Cinturón Plegado Perdido - 09	30	AE-0134 - CUICHAPA	54	AE-0160 - UCHUKIL
7	AE-0111 - ÁREA PERDIDO	31	AE-0135 - CUICHAPA	55	AE-0161 - UCHUKIL
8	AE-0112 - ÁREA PERDIDO	32	AE-0136 - CUICHAPA	56	AE-0162 - UCHUKIL
9	AE-0113 - ÁREA PERDIDO	33	AE-0137 - CUICHAPA	57	AE-0163 - CAMPECHE ORIENTE
10	AE-0114 - ÁREA PERDIDO	34	AE-0138 - CUICHAPA	58	AE-0164 - CAMPECHE ORIENTE
11	AE-0115 - ÁREA PERDIDO	35	AE-0139 - CUICHAPA	59	AE-0165 - CAMPECHE ORIENTE
12	AE-0116 - ÁREA PERDIDO	36	AE-0140 - COMALCALCO	60	AE-0166 - CAMPECHE ORIENTE

#	Asignación	#	Asignación	#	Asignación
13	AE-0117 - ÁREA PERDIDO	37	AE-0141 - COMALCALCO	61	AE-0167 - CAMPECHE ORIENTE
14	AE-0118 - BURGOS	38	AE-0142 - COMALCALCO	62	AE-0168 - CAMPECHE ORIENTE
15	AE-0119 - BURGOS	49	AE-0143 - COMALCALCO	63	AE-0169 - HAN
16	AE-0120 - BURGOS	40	AE-0144 - COMALCALCO	64	AE-0170 - HOLOK
17	AE-0121 - TAMPICO MISANTLA	41	AE-0145 - COMALCALCO	65	AE-0171 - ALOSA
18	AE-0122 - TAMPICO MISANTLA	42	AE-0146 - COMALCALCO	66	AE-0172 - HOLOK
19	AE-0123 - TAMPICO MISANTLA	43	AE-0147 - COMALCALCO	67	AE-0173 - HOLOK
20	AE-0124 - LLAVE	44	AE-0148 - UCHUKIL	68	AE-0174 - HOLOK
21	AE-0125 - LLAVE	45	AE-0149 - UCHUKIL	60	AE-0175 - CHUYAN
22	AE-0126 - LLAVE	46	AE-0150 - UCHUKIL	70	AE-0176 - XANATI
23	AE-0127 - LLAVE	47	AE-0152 - UCHUKIL	71	AE-0177 - YUBAN
24	AE-0128 - LLAVE	48	AE-0153 - UCHUKIL		

La **Tabla 5.33** reporta cifras reales relacionadas con las actividades exploratorias realizadas al amparo de los planes de exploración de las 71 asignaciones de Pemex.

Tabla 5.33. Pemex. Histórico de actividades en asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Actividad	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Adquirir sísmica 2D (km)	143	645	---	---	---	---	---
Adquirir sísmica 3D (km ²)	---	485	---	1141	5111	---	---
Electromagnéticos	---	8	7	2	1	---	---
Estudios	203	232	231	184	90	95	59
Pozos	2	24	14	14	13	17	11
Procesar sísmica 2D (km)	382	645	66	---	199	---	202
Procesar sísmica 3D (km ²)	4522	18737	13283	14759	9384	8958	21013

La **Tabla 5.34** muestra la inversión anual real de las actividades de los planes de exploración de las asignaciones de Pemex. El Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH) proporciona de manera interactiva más detalles del seguimiento de actividades y demás compromisos mínimos de trabajo.

Tabla 5.34. Pemex. Histórico de inversión de las actividades en asignaciones de exploración. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Inversión (mdp)	8764	26526	27490	15519	20199	18717	13083

También existen asignaciones de la empresa productiva subsidiaria Pemex Exploración y Producción en las cuales realiza actividades tanto de extracción como exploración. La **Tabla 5.35** presenta datos generales sobre las 8 asignaciones de exploración y extracción de Pemex, cuyos nombres se indican en la **Tabla 5.36**.

Tabla 5.35. Pemex. Asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).



8 de exploración y extracción
25 campos con reservas
2,950.6 km ² de superficie
11,062 mdp en gastos de operación*
17,525 mdp en inversión ejercida*

*Periodo 2014-2048

Producción (nov, 2020)
35 mbd Aceite
56 mmpcd Gas

Reservas (enero, 2020)	PCE	Aceite	Gas
	mmb	mmb	mmmpc
Probadas	104	75	170
Probables	502	336	887
Posibles	673	471	1045

Tabla 5.36. Pemex. Asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

#	Asignación	#	Asignación	#	Asignación
1	AE-0009-4M - Tucco-Xaxamani - 0	4	AE-0381-4M - Pitepec	7	AE-0386-4M - Miahupán
2	AE-0151 - UCHUKIL	5	AE-0382-4M - Amatitlán	8	AE-0387-2M - Humapa
3	AE-0154 - CHALABIL	6	AE-0385-4M - Soledad		

La **Tabla 5.37** reporta cifras reales relacionadas con las actividades realizadas al amparo de los planes de exploración de las 8 asignaciones de exploración y extracción de Pemex.

Tabla 5.37. Pemex. Histórico de actividades de planes de exploración hechas en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Actividad	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Adquirir sísmica 3D (km ²)	---	---	---	60	912	---
Electromagnéticos	---	---	---	---	---	---
Estudios	2	2	6	6	26	11
Pozos	---	---	1	2	1	3
Procesar sísmica 3D (km ²)	502	665	---	725	721	1116

La **Tabla 5.38** muestra la inversión anual real de las actividades de los planes de exploración de las asignaciones de Pemex.

Tabla 5.38. Pemex. Histórico de inversión real de planes de exploración en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2018a).

Exploración (mdp)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Inversión	10	53	531	1,154	605	2,832

Empresas productivas del Estado: contratos

Las actividades de exploración de hidrocarburos en México también se realizan mediante Contratos de Exploración y Extracción (CEE) adjudicados en procesos licitatorios denominados rondas de licitación a empresas productivas del Estado o particulares. Los CEE también se pueden adjudicar en licitaciones para seleccionar un socio para Pemex (*Farm-outs*).

Adicionalmente, los Contratos de Exploración y Extracción (CEE) incluyen las migraciones de Contratos de Obra Pública Financiada (COPF) o Contratos Integrales de Exploración y Producción (CIEP) permitidos antes de la reforma energética de 2013, así como migraciones de asignaciones.

La CNH registra 111 contratos vigentes al 11 de agosto de 2019, de los cuales 76 son del tipo licencia y 35 producción compartida.

Pemex Exploración y Producción participa en 22 de los 111 contratos: 3 contratos de asociaciones estratégicas denominadas *Farm-outs* (**Tabla 5.39**), 5 contratos de migraciones (**Tabla 5.40**) y 14 contratos de rondas de licitación, de los cuales 3 son de manera individual.

Dentro de los contratos de asociaciones estratégicas (Tabla 5.39), Trión está en etapa de exploración con aceite ligero como hidrocarburo esperado.

Tabla 5.39. Pemex. Contratos de asociaciones estratégicas (*farm-outs*). Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Farmout	Categoría	Farmout	Licitantes ganadores	País de Origen
2016	Aguas profundas	Trión	BHP Billiton	Australia
2017	Terrestre	Cárdenas Mora	Cheiron Holdings	Egipto
2017	Terrestre	Ogarrio	DEA Deutsche	Alemania
	Total	3	3	3

Dentro de los contratos de migraciones (Tabla 5.40), Ébano está en etapa de exploración y Misión está en etapa de exploración y desarrollo. El hidrocarburo esperado en Ébano es aceite y gas, mientras que en Misión es sólo gas.

Tabla 5.40. Pemex. Contratos de migraciones de CIEP, COPF o Asignación.

Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Tipo de contrato	Categoría	Contrato	Contratista	País de Origen
CIEP	Terrestre	Santuario -El Golpe	Petrofac	Reino Unido
COPF	Terrestre	Misión	Servicios Múltiples de Burgos	México
CIEP	Terrestre	Ébano	DS Servicios Petroleros y D&S Petroleum	México
CIEP	Terrestre	Miquetla	Operadora de Campos DWF	México
Asignación	Aguas someras	Ek-Balam	Pemex	México
	Total	5	5	2

Los 14 contratos de rondas de licitación (Tabla 5.41 y Tabla 5.42), están en etapa de exploración.

Tabla 5.41. Pemex. Contratos de rondas de licitación individuales. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Ronda	Categoría	Área	Licitantes ganadores	País de origen
2.4	Aguas profundas	5	Pemex Exploración y Producción	México
2.4	Aguas profundas	18	Pemex Exploración y Producción	México
3.1	Aguas someras	29	Pemex Exploración y Producción	México
	Total	3	1	1

Tabla 5.42. Pemex. Contratos de rondas de licitación en asociaciones. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Ronda	Categoría	Área	Licitantes ganadores	País de origen
1.4	Aguas profundas	3	Chevron e Inpex	EE. UU. / Japón
2.1	Aguas someras	2	DEA Deutsche	Alemania
2.1	Aguas someras	8	Ecopetrol	Colombia
2.4	Aguas profundas	2	Shell	Países Bajos

2.4	Aguas profundas	22	Chevron e Inpex	EE. UU. / Japón
3.1	Aguas someras	16	DEA y CEPESA	Alemania / España
3.1	Aguas someras	17	DEA y CEPESA	Alemania / España
3.1	Aguas someras	18	CEPSA	España
3.1	Aguas someras	32	Total	Francia
3.1	Aguas someras	33	Total	Francia
3.1	Aguas someras	35	Shell	Países Bajos
	Total	11	7	7

La **Tabla 5.43** muestra las 2 áreas contractuales en las que participa Pemex que contienen gas como hidrocarburo esperado. El hidrocarburo esperado varía desde aceite superligero, ligero, pesado hasta aceite extrapesado en el resto de las 11 áreas contractuales en las que participa Pemex.

Tabla 5.43. Áreas contractuales con gas como hidrocarburo esperado.
Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Hidrocarburo esperado	Ronda	Área	Licitantes ganadores
Gase seco	2.4	18	Pemex
Aceite ligero y gas seco	2.1	2	DEA Deutsche / Pemex

La **Figura 5.34** muestra la ubicación de los contratos adjudicados en rondas de licitación (5 en aguas someras y 9 en aguas profundas), así como 3 contratos de *farm-outs* (1 en aguas profundas y 2 terrestres) (SENER, 2018i).

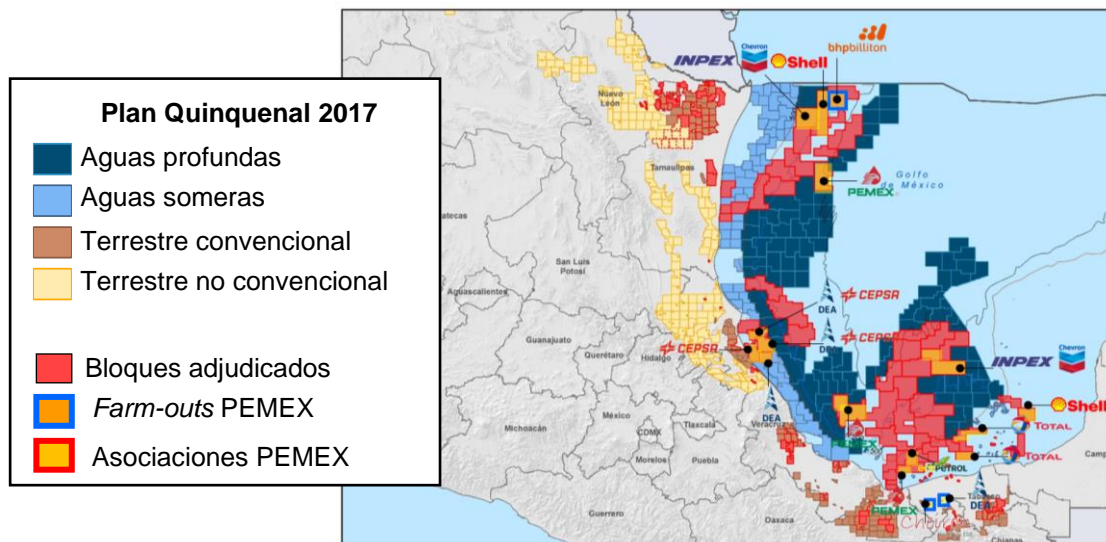


Figura 5.34. Ubicación de áreas contractuales adjudicadas a PEMEX. Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Particulares: contratos

La participación exclusiva de particulares ocurre en 90 contratos, de los cuales 59 están en etapa de exploración con áreas contractuales ubicadas en aguas profundas, aguas someras y áreas terrestres. Sólo 1 contrato está en etapa de exploración y evaluación en aguas someras (área 7, Ronda 1.1)

La **Tabla 5.44** muestra las 19 áreas contractuales de particulares, las cuales contienen gas como hidrocarburo esperado.

Tabla 5.44. Áreas contractuales con gas como hidrocarburo esperado.

Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Hidrocarburo esperado	Ronda	Área	Licitantes ganadores
Gas seco	2.4	14	REPSOL / PC CARIGALI
Gas húmedo	1.4	7	Statoil / BP / Total
	2.1	15	Total / Shell
	2.2	1	Iberoamericana / Servicios PJP4
	2.2	4	Sun God Energia / Jaguar
	2.2	5	Sun God Energia / Jaguar
	2.2	7	Sun God Energia / Jaguar
	2.2	8	Sun God Energia / Jaguar
	2.2	9	Sun God Energia / Jaguar
	2.3	1	Iberoamericana / Servicios PJP4
	2.3	3	Newpek / Verdad Exploration
	2.3	4	Iberoamericana / Servicios PJP4
	3.1	34	Total / BP / Pan American Energy
	Gas húmedo y aceite	2.3	9
2.3		5	
2.3		8	
Aceite ligero y gas seco	2.2	10	Sun God Energia / Jaguar
	2.3	14	Jaguar
	2.3	7	
Total	6 rondas	19 áreas	12 empresas licitantes

Dentro de los 60 contratos en etapa de exploración, sólo han presentado producción 4 contratos de la Ronda 2.2 (áreas 1, 4, 5 y 10) y 3 contratos de la Ronda 2.3 (áreas 1, 9 y 7) ubicados en áreas terrestres. Todos estos con producción de gas húmedo o gas con aceite.

5.5.4.2 Extracción

5.5.4.2.1 Participantes y actividades

Empresas productivas del Estado: asignaciones

En México, las actividades de extracción de hidrocarburos como el gas natural se realizan mediante asignaciones a empresas productivas del Estado o contratos con éstas o con particulares.

Al igual que en las actividades de exploración, Pemex es la única empresa productiva del Estado que mediante la empresa productiva subsidiaria Pemex Exploración y Producción realiza actividades de extracción mediante asignaciones.

La **Tabla 5.45** presenta datos generales sobre las 275 asignaciones de extracción de Pemex, cuyos nombres se indican en la **Tabla 5.46**.

Tabla 5.45. Pemex. Asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

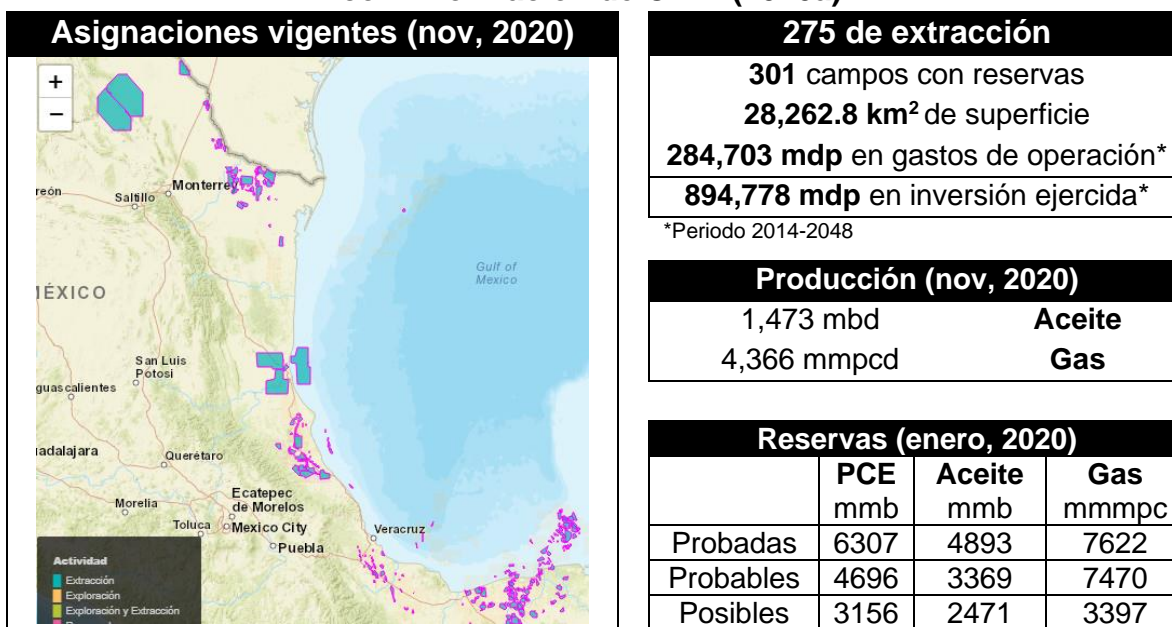


Tabla 5.46. Pemex. Asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

#	Asignación	#	Asignación	#	Asignación
1	A-0001-3M - Campo Abkatún	93	A-0135-M - Campo Fronterizo	185	A-0280-3M - Campo Poza Rica
2	A-0002-M - Campo Acuatempa	94	A-0136-M - Campo Fundador	186	A-0282-M - Campo Puerto Ceiba
3	A-0003-M - Campo Agave	95	A-0137-M - Campo Galia	187	A-0284-2M - Campo Rabasa
4	A-0004-3M - Campo Agua Fría	96	A-0138-M - Campo Gallo	188	A-0285-M - Campo Rabel
5	A-0006-M - Campo Aguacate	97	A-0139-M - Campo Garufa	189	A-0286-M - Campo Rancho Nuevo
6	A-0007-M - Campo Ahuatepec	98	A-0140-M - Campo Gasífero	190	A-0287-M - Campo Rasha
7	A-0008-M - Campo Akal	99	A-0141-M - Campo Gaucho	191	A-0288-M - Campo Reynosa
8	A-0010-M - Campo Álamo San Isidro	100	A-0143-M - Campo General	192	A-0290-M - Campo Rincón Pacheco
9	A-0016-M - Campo Angostura	101	A-0144-M - Campo Giraldas	193	A-0291-M - Campo Río Nuevo
10	A-0018-M - Campo Apértura	102	A-0145-M - Campo Guaricho	194	A-0292-M - Campo Rodador

#	Asignación
11	A-0019-M - Campo Árabe
12	A-0021-M - Campo Aral
13	A-0022-M - Campo Arcabúz
14	A-0023-M - Campo Arcos
15	A-0025-M - Campo Aris
16	A-0026-M - Campo Arquimia
17	A-0027-M - Campo Arroyo Prieto
18	A-0029-M - Campo Artesa
19	A-0031-M - Campo Atún
20	A-0032-M - Campo Ayatsil
21	A-0033-M - Campo Ayín
22	A-0034-M - Campo Ayocote
23	A-0035-M - Campo Bacab
24	A-0037-M - Campo Bagre
25	A-0040-M - Campo Barajas
26	A-0041-M - Campo Barunda
27	A-0042-M - Campo Batab
28	A-0043-M - Campo Bato
29	A-0044-M - Campo Bayo
30	A-0045-M - Campo Bedel
31	A-0046-M - Campo Bellota
32	A-0047-M - Campo Blasillo
33	A-0049-2M - Campo Bolontikú
34	A-0050-M - Campo Bricol
35	A-0051-M - Campo Brillante
36	A-0053-M - Campo Caan
37	A-0054-M - Campo Cabeza
38	A-0055-M - Campo Cacahuatengo
39	A-0057-2M - Campo Cactus
40	A-0060-M - Campo Cañón
41	A-0061 - Campo Caparrosos-Pijije-Escuintle
42	A-0064-M - Campo Caristay
43	A-0065-M - Campo Carpa
44	A-0067-M - Campo Castarrical
45	A-0068-M - Campo Castell
46	A-0071-M - Campo Cauchy
47	A-0072-M - Campo Caudaloso
48	A-0073-M - Campo Cehualaca
49	A-0074-M - Campo Cerro del Carbón
50	A-0075-M - Campo Cerro Nanchital
51	A-0077-M - Campo Cervelo
52	A-0078-M - Campo Chac
53	A-0079-M - Campo Chancarro
54	A-0081-M - Campo Chapul
55	A-0082-M - Campo Ché
56	A-0083-M - Campo Chiapas-Copanó
57	A-0084-M - Campo Chichimantla
58	A-0085-M - Campo Chiconcoa
59	A-0086-M - Campo Chilapilla
60	A-0087-M - Campo Chinchorro
61	A-0088-M - Campo Chipilín

#	Asignación
103	A-0151-2M - Campo Homol
104	A-0152-M - Campo Horcón
105	A-0154 - Campo Hormiguero
106	A-0155-M - Campo Huizache
107	A-0156-3M - Campo Huizotate
108	A-0159-M - Campo Íride
109	A-0160-2M - Campo Ixtal
110	A-0161-2M - Campo Ixtoc
111	A-0162-M - Campo Jacinto
112	A-0163-2M - Campo Jaf
113	A-0164-M - Campo Jaujaj
114	A-0165-M - Campo Jiliapa
115	A-0166-M - Campo José Colomo
116	A-0168-M - Campo Jujo-Tecominoacán
117	A-0169-M - Campo Juspi
118	A-0170-M - Campo Kab
119	A-0171-M - Campo Kabuki
120	A-0172-M - Campo Kambesah
121	A-0174-M - Campo Kanaab
122	A-0176-M - Campo Kax
123	A-0179-M - Campo Kibo
124	A-0182-M - Campo Kriptón
125	A-0183-3M - Campo Ku
126	A-0184-M - Campo Kuil
127	A-0185-M - Campo Kunah
128	A-0186-M - Campo Kutz
129	A-0188-M - Campo Lakach
130	A-0189-M - Campo Lankahuasa
131	A-0193-M - Campo Lizamba
132	A-0194-M - Campo Lomitas
133	A-0195-2M - Campo Los Soldados
134	A-0196-M - Campo Lum
135	A-0197 - Campo Luna-Palapa
136	A-0198-M - Campo Macuile
137	A-0199-M - Campo Madera
138	A-0200-M - Campo Maderáceo
139	A-0201-2M - Campo Madrefil
140	A-0203-2M - Campo Maloob
141	A-0205-2M - Campo Manik
142	A-0206-M - Campo Marsopa
143	A-0208-M - Campo Mata Pionche
144	A-0210-2M - Campo May
145	A-0211-M - Campo Mecayucan
146	A-0215-M - Campo Mesa Cerrada
147	A-0216-2M - Campo Miahuaapán
148	A-0217-M - Campo Miquetla
149	A-0218-M - Campo Miralejos
150	A-0219-M - Campo Misión
151	A-0223-M - Campo Mojarreñas
152	A-0225-M - Campo Monterrey
153	A-0227-M - Campo Moraillo

#	Asignación
195	A-0293-M - Campo Romarik
196	A-0294-M - Campo Rosenblú
197	A-0296-M - Campo Samaria
198	A-0298-M - Campo San Diego Chiconcillo
199	A-0299-M - Campo San Pablo
200	A-0300-M - Campo San Ramón
201	A-0301-M - Campo Santa Águeda
202	A-0302-M - Campo Santa Anita
203	A-0303-M - Campo Santa Rosalía
204	A-0305-M - Campo Sen
205	A-0306-M - Campo Shishito
206	A-0308-M - Campo Sihil
207	A-0309-M - Campo Sinán
208	A-0310-M - Campo Sini
209	A-0311-M - Campo Sitio
210	A-0312-M - Campo Sitio Grande
211	A-0313-M - Campo Soledad
212	A-0315-M - Campo Solís Tierra Amarilla
213	A-0316-M - Campo Sultán
214	A-0317-M - Campo Sunuapa
215	A-0319-M - Campo Sur Chinampa Norte de Amatlán
216	A-0320-M - Campo Sur de Amatlán
217	A-0322-M - Campo Takín
218	A-0323-M - Campo Tamaulipas Constituciones
219	A-0324-M - Campo Taratunich
220	A-0327-M - Campo Tekel
221	A-0329-M - Campo Teotlaco
222	A-0330-M - Campo Tepetate Norte Chinampa
223	A-0331-M - Campo Tepetitán
224	A-0332-2M - Campo Terra
225	A-0335-M - Campo Tigrillo
226	A-0336-M - Campo Tihuatlán
227	A-0338-3M - Campo Tintal
228	A-0340-M - Campo Tizón
229	A-0342-M - Campo Tokal
230	A-0345-M - Campo Topo
231	A-0346-M - Campo Torrecillas
232	A-0347-M - Campo Toteco Cerro Azul
233	A-0349-M - Campo Tres Hermanos
234	A-0352-2M - Campo Tsimín
235	A-0354-2M - Campo Tumut
236	A-0356-M - Campo Tupilco
237	A-0358-M - Campo Uech
238	A-0359 - Campo Usumacinta
239	A-0361-M - Campo Utsil
240	A-0365-M - Campo Velero
241	A-0366-M - Campo Viboritas
242	A-0367-M - Campo Vistoso
243	A-0369-2M - Campo Xanab
244	A-0370-M - Campo Xocotla
245	A-0371-2M - Campo Xux

#	Asignación	#	Asignación	#	Asignación
62	A-0089-2M - Campo Chuc	154	A-0228-M - Campo Mozutla	246	A-0372-M - Campo Yagual
63	A-0090-M - Campo Chuhuk	155	A-0229-M - Campo Muro	247	A-0373-2M - Campo Yaxché
64	A-0092-M - Campo Cinco Presidentes	156	A-0230-M - Campo Muspac	248	A-0374-2M - Campo Yum
65	A-0094-3M - Campo Coapechaca	157	A-0232 - Campo Narváez	249	A-0375-2M - Campo Zaap
66	A-0095 - Campo Cobo	158	A-0233-M - Campo Navegante	250	A-0376-M - Campo Zacamixtle
67	A-0096-M - Campo Cobra	159	A-0234-M - Campo Nejo	251	A-0379 - Campo Zapotalillo
68	A-0097-M - Campo Cocuite	160	A-0236-M - Campo Nispero	252	A-0383-M - Cuervito
60	A-0098-M - Campo Comitas	161	A-0237-M - Campo Nohoch	253	A-0384-M - Carrizo
70	A-0099-M - Campo Comoapa	162	A-0239-M - Campo Nuevo Progreso	254	A-0393-M - San Andrés
71	A-0100-M - Campo Copal	163	A-0240 - Campo Oasis	255	A-0394-M - Tierra Blanca
72	A-0101-M - Campo Cópite	164	A-0241-M - Campo Obertura	256	A-0399 - Monclova
73	A-0104 - Campo Costero	165	A-0242-M - Campo Och	257	A-0400 - Olmos
74	A-0107-3M - Campo Coyula	166	A-0243-M - Campo Ocotepec	258	A-0401 - Pirineo
75	A-0108-M - Campo Cráter	167	A-0245-2M - Campo Onel	259	AE-0006-7M - Amoca-Yaxché - 04
76	A-0109-M - Campo Cuatro Milpas	168	A-0247-M - Campo Orozco	260	AE-0008-5M - Amoca-Yaxché - 06
77	A-0110-M - Campo Cuaña	160	A-0249-M - Campo Oxiacaque	261	AE-0019-3M - Okom - 02
78	A-0111-M - Campo Cuervito	170	A-0250-M - Campo Paché	262	AE-0020-3M - Okom - 03
79	A-0112-M - Campo Cuitláhuac	171	A-0252-M - Campo Palangre	263	AE-0024-3M - Okom - 07
80	A-0113-M - Campo Culebra	172	A-0254-M - Campo Palmito	264	AE-0032-4M - Joachín - 02
81	A-0114-M - Campo Cunduacán	173	A-0255-M - Campo Palo Blanco	265	AE-0036-2M - Campo Bacal
82	A-0115-M - Campo Cupache	174	A-0259 - Campo Pandura	266	AE-0055-6M - Mezcalapa - 05
83	A-0116-M - Campo Dragón	175	A-0261-M - Campo Papán	267	AE-0056-3M - Mezcalapa - 06
84	A-0117-M - Campo Dulce	176	A-0262-M - Campo Papantla	268	AE-0094-3M - Cinturón Subsalino - 12
85	A-0119-M - Campo Edén-Jolote	177	A-0263-M - Campo Paredón	260	AE-0187-2M - Campo Lacamango
86	A-0122-M - Campo Eltreinta	178	A-0264-M - Campo Pareto	270	AE-0235-2M - Campo Nelash
87	A-0124-M - Campo Emú	179	A-0265-M - Campo Pascualito	271	AE-0339-2M - Campo Tiunut
88	A-0126-M - Campo Enlace	180	A-0269-M - Campo Perdiz	272	AE-0389-M - Altamira
89	A-0127-M - Campo Escarbado	181	A-0270-M - Campo Pesero	273	AE-0390-M - Arenque
90	A-0129-M - Campo Espejo	182	A-0271-M - Campo Piklis	274	AE-0392-M - Pánuco
91	A-0130-M - Campo Etkal	183	A-0275-M - Campo Platanal	275	AE-0395-2M - Magallanes-Tucán-Pajonal
92	A-0132-M - Campo Ezequiel Ordóñez	184	A-0278-2M - Campo Pol		

Las **Tabla 5.47** y **Tabla 5.48** reportan cifras reales relacionadas con las actividades realizadas al amparo de los planes de exploración y extracción, respectivamente de las 275 asignaciones de Pemex.

Tabla 5.47. Pemex. Histórico de actividades de planes de exploración hechas en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Actividad	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Adquirir sísmica 3D (km ²)	0	0	0	1025	355	0
Electromagnéticos	0	0	0	0	1	0
Estudios	38	42	56	47	31	26
Pozos	1	5	6	10	7	16
Procesar sísmica 2D (km)	46	0	190	0	65	0
Procesar sísmica 3D (km ²)	1180	4622	3405	4365	1520	2920

Tabla 5.48. Pemex. Histórico de actividades de planes de extracción hechas en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Actividad	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Perforaciones - Desarrollo	95	262	97	29	94	202	88
Perforaciones - Inyectores	0	0	0	0	0	0	0
Terminaciones - Desarrollo	125	276	121	34	88	191	101
Terminaciones - Inyectores	0	0	0	0	0	0	0
Reparaciones mayores	253	593	380	412	331	332	188
Reparaciones menores	1344	3494	2353	2656	2474	2392	1790
Taponamientos	2	22	15	21	7	31	27
Producción aceite (mbd)	---	2244	2141	1916	1761	1608	1570
Producción gas (mmmpc)	---	5536	4576	3813	3370	3341	3304

La **Tabla 5.49** y **Tabla 5.50** muestran la inversión anual real de las actividades de los planes de exploración y extracción de las asignaciones de Pemex. El CNIH proporciona comparativos entre las cifras reales y las propuestas en los planes de extracción y exploración.

Tabla 5.49. Pemex. Histórico de inversión real de planes de exploración en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Exploración (mdp)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Inversión	2,620	4,440	11,054	12,946	9,725	10,032

Tabla 5.50. Pemex. Histórico de inversión real de planes de extracción en asignaciones de extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Extracción (mdp)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Inversión	197,239	165,943	115,094	118,760	138,583	105,929
Gasto operación	32,640	32,315	51,114	50,297	61,963	56,375

Dentro de las 8 asignaciones de exploración y extracción de Pemex (**Tabla 5.35** y **Tabla 5.36**), se realizan actividades tanto de extracción como exploración. Por ello, la **Tabla 5.51** reporta cifras reales relacionadas únicamente con las actividades realizadas al amparo de los planes de extracción.

Tabla 5.51. Pemex. Histórico de actividades de planes de extracción hechas en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Actividad	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Perforaciones - Desarrollo	7	8	7	29	43	1	11
Terminaciones - Desarrollo	2	11	7	20	52	5	9
Reparaciones mayores	22	36	22	13	13	5	---
Reparaciones menores	61	169	102	78	112	83	38
Taponamientos	---	3	---	---	---	---	1
Producción aceite (mbd)	---	6.2	6.1	5.7	6.1	4-7	17.1
Producción gas (mmmpc)	---	15.0	13.8	13.3	13.6	11.7	32.3

La **Tabla 5.52** muestra la inversión anual real de las actividades de los planes de extracción de las 8 asignaciones de exploración y extracción de Pemex.

Tabla 5.52. Pemex. Histórico de inversión real de planes de extracción en asignaciones de exploración y extracción. Fuente: Elaboración propia con información de CNIH (2020a).

Extracción (mdp)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Inversión	255	5	94	65	1,790	7,780
Gasto operación	957	5,915	599	1,024	599	1,970

Empresas productivas del Estado: contratos

Las actividades de extracción de hidrocarburos en México también se realizan mediante Contratos de Exploración y Extracción (CEE). Dichos contratos provienen de rondas de licitación, de licitaciones para seleccionar un socio para Pemex (*Farm-outs*) y migraciones de Contratos de Obra Pública Financiada (COPF) o Contratos Integrales de Exploración y Producción (CIEP), así como migraciones de asignaciones.

Pemex Exploración y Producción participa en contratos provenientes de licitaciones de asociaciones estratégicas denominados *Farm-outs* (**Tabla 5.39**), contratos de migraciones (**Tabla 5.40**) y contratos de rondas de licitación, de manera individual y en asociación (**Tabla 5.42**).

Dentro de los contratos de asociaciones estratégicas (Tabla 5.39), Cárdenas Mora y Ogarrio están en etapa de desarrollo, con aceite y aceite y gas húmedo como hidrocarburo esperado, respectivamente.

Dentro de los contratos de migraciones (Tabla 5.40), Ek-Balam y Santuario-El Golpe, Misión están en etapa desarrollo, mientras que Miquetla está en etapa de transición de arranque. El hidrocarburo esperado en los tres contratos de migraciones es aceite y gas.

Por su parte, ninguno de los 14 contratos de rondas de licitación de Pemex (Tabla 5.41 y Tabla 5.42), están en etapa de extracción.

Particulares: contratos

Dentro de los 90 contratos en los que participan exclusivamente particulares, 7 están en etapa de evaluación y 22 en etapa de desarrollo.

Las 7 áreas contractuales en etapa de evaluación corresponden a 5 contratos de la Ronda 1.3 de áreas terrestres (áreas 4, 9, 13, 23 y 25) y 2 contratos de la Ronda 2.3 de áreas terrestres (áreas 2 y 6).

Las 22 áreas contractuales en etapa de desarrollo corresponden a 3 contratos de la Ronda 1.2 de aguas someras (áreas 1, 2 y 4) y 19 contratos de la Ronda 1.3 de áreas terrestres (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 24).

La **Tabla 5.53** muestra las 13 áreas contractuales de particulares, las cuales contienen gas como hidrocarburo esperado.

Tabla 5.53. Áreas contractuales con gas como hidrocarburo esperado.

Fuente: Elaboración propia con información de SENER (2018i).

Hidrocarburo esperado	Ronda	Área	Licitantes ganadores
Gas seco	1.3	2	Sistemas Integrales de Compresion / Nuvoil / Constructora Marusa
	1.3	3	Consorcio Manufacturero Mexicano
	1.3	8	Construcciones y Servicios Industriales Globales
	1.3	12	Consorcio Manufacturero Mexicano
Gas húmedo	2.3	2	Newpek Exploracion y Extraccion / Verdad Exploration Mexico
	2.3	6	Roma Exploration and Production / Tubular Technology / Suministros Marinos e Industriales de Mexico / Golfo Suplemento Latino
	1.3	5	Strata Campos Maduros
	1.3	18	Strata Campos Maduros

Hidrocarburo esperado	Ronda	Área	Licitantes ganadores
Gas húmedo no asociado	1.3	20	Steel Serv / Constructora Hostotipaquillo / Desarrollo De Tecnología y Servicios Integrales / Mercado De Arenas Silicas
	1.3	21	Strata Campos Maduros
Gas húmedo y condensados	1.3	6	Diavaz Offshore
	1.3	9	Compañía Petrolera Perseus
	1.3	15	Renaissance Oil Corp.
Total	2 rondas	13 áreas	19 empresas licitantes

Dentro de los 29 contratos en etapa de desarrollo, sólo presentan producción de hidrocarburos 14 contratos de la Ronda 1.3 (áreas 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 15, 18, 20, 21 y 24) ubicados en áreas terrestres. De estos, la producción de gas corresponde a 10 áreas contractuales (2, 3, 5, 6, 8, 12, 15, 18, 20 y 21).

5.5.4.3 Procesamiento

La Ley de Hidrocarburos define al procesamiento de gas natural como la “separación del gas natural de otros gases o líquidos para su transformación o comercialización”. La **Figura 5.35** esquematiza las etapas del procesamiento de gas natural.

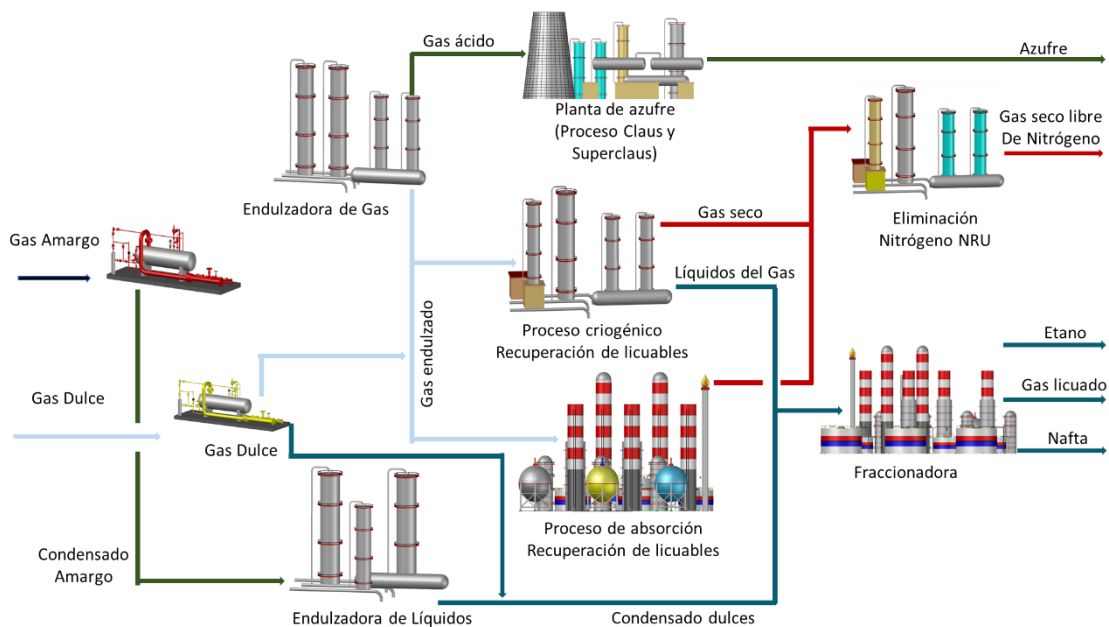


Figura 5.35. Procesamiento del gas natural. Fuente: Pérez Ruiz (2019).

Los detalles del procesamiento del gas natural pueden consultarse en diversas fuentes. La **Tabla 5.54** resume cuatro procesos industriales que los centros procesadores de gas (CPG) en México reportan como parte de su infraestructura.

Tabla 5.54. Procesos industriales principales del procesamiento de gas.
Fuente: Pérez Ruiz (2019).

Proceso	Descripción
Endulzamiento de gas	Proceso que consiste en remover los contaminantes, ácido sulfhídrico (H ₂ S) y dióxido de carbono (CO ₂) del gas húmedo amargo recibido de los pozos productores.
Endulzamiento de líquidos	Proceso que consiste en remover los contaminantes, ácido sulfhídrico (H ₂ S) y dióxido de carbono (CO ₂) de una corriente líquida de condensado amargo.
Proceso criogénico	Proceso de refrigeración, a que se somete el gas natural con el fin de recuperar los líquidos componentes más pesados que el metano; principalmente etano.
Fraccionamiento de líquidos	Proceso que recibe líquidos del gas y que en varias columnas sucesivas separa cada producto mediante la destilación: etano, propano, butano y nafta.

5.5.4.3.1 Participantes y actividades

El procesamiento de gas natural requiere de un permiso otorgado por la SENER. Pemex Transformación Industrial es la empresa productiva subsidiaria con 9 permisos para el procesamiento de gas natural. Dichos permisos amparan la operación en 9 centros procesadores de gas (CPG) (**Figura 5.36**).



Figura 5.36. Centros procesadores de gas en México. Fuente: Modificado de PEMEX (2019).

La **Tabla 5.55** muestra la capacidad instalada de los centros procesadores de gas.

Tabla 5.55. Pemex. Capacidad instalada de los complejos procesadores de gas natural. Fuente: SENER (2018j) y SENER (2020c).

Centro Procesador de Gas	Ubicación	Inicio de operación	Endulzamiento de gas (MMpcd)	Endulzamiento de líquidos (Mbd)	Proceso criogénico (MMpcd)	Fraccionamiento de líquidos (Mbd)	
A	Arenque	Ciudad Madero, Tamaulipas	2003	34	N/A	33	N/A
B	Burgos	Reynosa, Chiapas	2004	N/A	N/A	1,200	18
C	Cactus	Reforma, Chiapas	1974	1,960	48	1,275	104
D	Cd. Pemex	Macuspana, Tabasco	1958	1,290	N/A	915	N/A
E	Coatzacoalcos	Coatzacoalcos, Veracruz	1997	N/A	N/A	192	217
F	La Venta	La Venta, Tabasco	1963	N/A	N/A	182	N/A
G	Matapionche	Cotaxtla, Veracruz	1981	109	N/A	125	N/A
H	Nuevo Pemex	Villahermosa, Tabasco	1976	880	96	1,500	208
I	Poza Rica	Poza Rica, Veracruz	1951	230	N/A	490	22
Total			4,503	144	5,912	569	

5.5.4.4 Logística

La logística comprende tres actividades que define la Ley de Hidrocarburos: (1) transporte, (2) almacenamiento y (3) distribución del gas natural (DOF, 2016b).

Transporte

El transporte es la “*actividad de recibir, entregar y, en su caso, conducir hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos, de un lugar a otro por medio de ductos u otros medios, que no conlleva la enajenación o comercialización de dichos productos por parte de quien la realiza a través de ductos. Se excluye de esta definición la recolección y el desplazamiento de hidrocarburos dentro del perímetro de un área contractual o de un área de asignación, así como la distribución*” (DOF, 2016b).

Almacenamiento

El almacenamiento es “*el depósito y resguardo de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos en depósitos e instalaciones confinados que pueden ubicarse en la superficie, el mar o el subsuelo*” (DOF, 2016b).

Distribución

La distribución es la “*actividad logística relacionada con la repartición, incluyendo el traslado, de un determinado volumen de gas natural o petrolíferos desde una ubicación determinada hacia uno o varios destinos previamente asignados, para su expendio al público o consumo final*” (DOF, 2016b).

5.5.4.4.1 Participantes y actividades

Transporte

El sistema de transporte de gas natural más importante en México es el SISTRANGAS, un conjunto de sistemas de transporte de gas interconectados entre sí e integrados para efectos tarifarios, teniendo integrados seis sistemas periféricos y un sistema central: el Sistema Nacional de Gasoductos, propiedad de CENAGAS (CENAGAS, 2016).

El SISTRANGAS tiene una longitud de 10,068 kilómetros y alcanza veinte estados divididos en seis zonas tarifarias. La capacidad total de transporte del sistema se estima en 6,307 millones de pies cúbicos diarios, entregando gas en 112 centros de extracción y abasteciéndose en 27 puntos de inyección como son centros procesados de gas, campos gasíferos y puntos de internación (CENAGAS, 2016).

La **Figura 5.37** muestra los principales puntos de inyección al sistema de transporte de gas natural y su interconexión con la red de gasoductos en operación y construcción (CNH, 2018f). Los puntos de inyección incluyen 9 Centros Procesadores de Gas que opera Pemex y están interconectados con el SISTRANGAS; 22 puntos de internación en operación que se interconectan en la frontera con ductos de Estados Unidos; y 3 plantas de regasificación de gas natural licuado (CNH, 2018f).

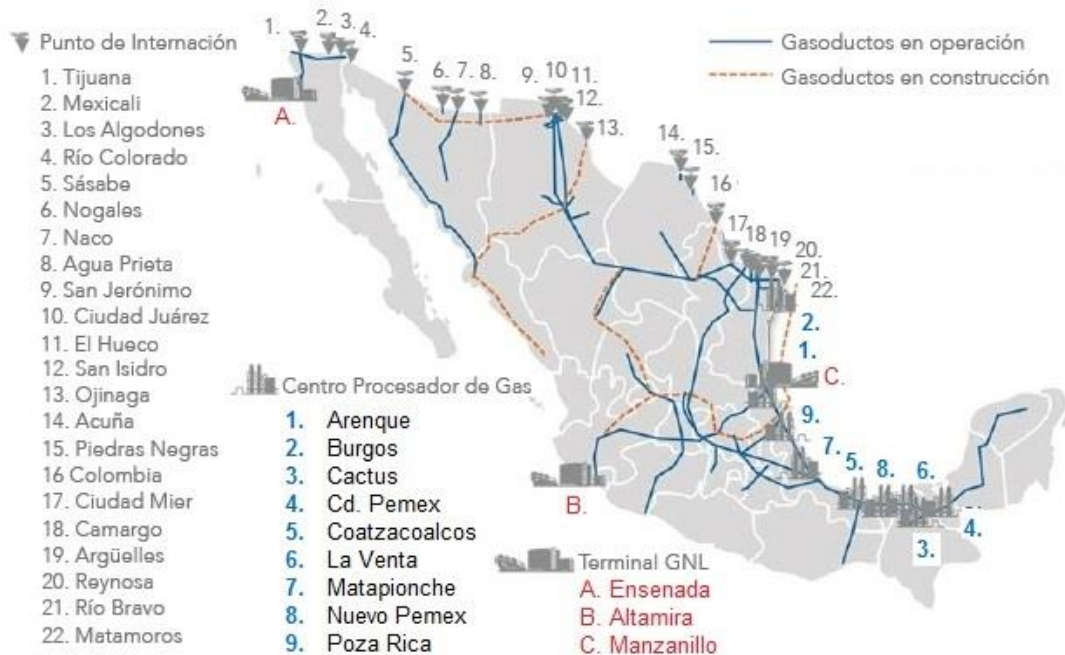


Figura 5.37. Puntos de inyección, centros procesadores de gas y terminales GNL. Fuente: Modificado de CNH (2018f).

La red de transporte por ducto de gas natural incluye al SISTRANGAS y se complementa con gasoductos privados no integrados para efectos tarifarios. La **Figura 5.38** muestra los gasoductos principales de la de la red, incluye aquellos en operación (**Tabla 5.56**), construcción (**Tabla 5.57**) y en proyecto (**Tabla 5.58**).



Figura 5.38. Red de principales gasoductos. Fuente: CNH (2018f).

Tabla 5.56. CRE. Principales gasoductos en operación. Fuente: modificado de CNH (2018f).

#	Gasoducto	Longitud (km)	Capacidad (MMpcc)
1	Sistema Nacional de Gasoductos (SNG)	8,867	5,709
2	Sistema Naco-Hermosillo (SNH)	339	90
3	Kinder Morgan Monterrey (Ciudad Mier - Pesquería)	137	345
4	Gasoductos de Chihuahua (San Agustín Valdivia - Gloria a Dios)	38	322
5	Gasoducto Mayakán (Ciudad Pemex - Valladolid)	694	300
	Ciudad PEMEX – Nuevo PEMEX (Ampliación Mayakán)	75	
6	Tejas Gas de Toluca (Palmillas – Santiago Tianguistengo)	175	96
7	Gasoducto del Bajío (Valtierrilla – Aguascalientes)	204	90
8	Transportadora de Gas Natural de Baja California (Tijuana – Rosarito)	36	940
9	Gasoducto Rosarito (TARG GNL Ensenada – Los Algodones)	302	41
10	Gasoducto Aguaprieta (Frontera México / EUA – CCC Naco Nogales)	13	215
11	Gasoductos de Tamaulipas (Reynosa – San Fernando)	114	1,000 y 1,460
12	Gasoductos del Río (Ciudad Bravo – Anáhuac)	58	410
13	Transportadora de Gas Natural de la Huasteca (Naranjos –Tamazunchale)	127	886
	Transportadora de Gas Natural de la Huasteca (Tamazunchale – El Sauz)	229	634
14	Corredor de Chihuahua (Tarahumara Pipeline) (San Isidro – El Encino)	381	850
15	Energía Occidente de México-Trayecto 1 (Terminal GNL – Polo de generación Manzanillo)	5	500
	Energía Occidente de México-Trayecto 2 (Terminal GNL – El Castillo)	316	320
16	Gasoducto de Aguaprieta (Sásabe – Puerto Libertad)	218	770
	Gasoducto de Aguaprieta (Puerto Libertad – Guaymas)	297	770
	Gasoducto de Aguaprieta (Guaymas – El Oro)	430	202
17	Gasoducto Morelos (primera etapa) (Gasoducto 30” – CCC Centro)	113	156
18	Gasoducto Zacatecas (Aguascalientes – Calera)	172	40
19	Gasoducto Los Ramones Fase I (Camargo – Los Ramones)	116	2,100
20	Frontera – Argüelles (Energy Transfer)	3	140
21	Los Ramones Fase II (tramo Norte)	447	1,430
22	Los Ramones Fase II (tramo Sur)	291	1,430
23	Gasoducto San Isidro – Samalayuca (IEnova) (San Isidro – Samalayuca)	24	1,220
24	Gasoducto Ojinaga – El Encino (IEnova) (Ojinaga – El Encino)	221	1,356

Tabla 5.57. CRE. Principales gasoductos en construcción. Fuente: modificado de CNH (2018f).

#	Gasoducto	Longitud (km)	Capacidad (MMpcc)
25	Transportadora de GN del Noroeste (El Encino – Topolobampo)	560	670
	Transportadora de GN del Noroeste (El Oro – Mazatlán)	430	202
26	Transportadora de Gas Natural de la Huasteca (Tuxpan – Tula)	283	886
	Transportadora de Gas Natural de la Huasteca Tula – Villa de Reyes	420	886
27	Fermaca Pipeline Encino – La Laguna	423	1,500
	Fermaca Pipeline La Laguna – Aguascalientes	451	1,189
	Fermaca Pipeline Villa de Reyes – Guadalajara	374	886
28	Carso Gasoductos Samalayuca – Sásabe	614	472
29	Infraestructura Marina del Golfo Sur de Texas – Tuxpan	742	2, 600
30	Nueva Era Pipeline (Midstream de México) (Webb County, EUA – Monterrey)	273	504

Tabla 5.58. CRE. Principales gasoductos en proyecto. Fuente: modificado de CNH (2018f).

#	Gasoducto	Longitud (km)	Fecha de licitación	Entrada en operación
31	Jáltipan – Salina Cruz	247	2017-2018	2020-2022
32	Lázaro Cárdenas – Acapulco	331	2017-2019	2020-2022
33	Ramones – Cempoala	855	Sujeto a Plan Quinquenal 2020-2024	
34	Salina Cruz – Tapachula	400	Privado	
35	Mérida - Cancún	300	Privado	

Almacenamiento

México tiene tres terminales de almacenamiento y regasificación para gas natural licuado, es decir, en estado líquido (**Tabla 5.59**).

Tabla 5.59. Terminal de almacenamiento y regasificación de GNL. Fuente: SENER (2020c).

Ubicación de la terminal	Capacidad de GNL almacenado (MMpc)	Capacidad de regasificación (MMpc)	Interconexión
1 Altamira, Tamaulipas	10.59	670-1,119	SISTRANGAS
2 Ensenada, Baja California	11.30	1,000-1,300	Gasoducto Rosarito
3 Manzanillo, Colima	10.59	500	Gasoducto Energía Occidente de México

México tiene una capacidad de almacenamiento de gas que cubre apenas 1.5 días del consumo nacional. En 2015, el inventario en Alemania alcanzó 80 días (BMW, 2015)

México no registra infraestructura de almacenamiento de gas natural en estado gaseoso. Al respecto, en marzo de 2018 la SENER publicó la Política Pública en materia de Almacenamiento de Gas Natural. Dicha política estableció a CENAGAS la obligación de constituir inventarios estratégicos de 45 billones de pies cúbicos a más tardar en el año 2026 (equivalía aproximadamente a 5 días de demanda proyectada al 2029) (SENER, 2018k)

En ese sentido, en agosto de 2018 CENAGAS publicó las pre-bases de la primera licitación de almacenamiento estratégico de gas natural en yacimientos dictaminados como económicamente inviables para la extracción de hidrocarburos, previamente nominados, considerando el almacenamiento de al menos 10 billones de pies cúbicos (CENAGAS, 2018).

El proceso licitatorio no continuó con la entrada de la nueva administración federal (2019-2024), sin considerar que la infraestructura ayuda a fortalecer la seguridad energética del país, al permitir enfrentar posibles contingencias en México o Estados Unidos.

Distribución

El 18 de diciembre de 2018, la CRE publicó el acuerdo Núm. A/070/2017 mediante el cual determinó a todo el territorio nacional como zona geográfica única para fines de distribución de gas natural (DOF, 2018c).

Anteriormente, la distribución de gas natural requería un permiso con exclusividad geográfica por un periodo de 5 a 12 años, prorrogable hasta por la mitad del plazo original (CRE, 2017). Así, el acuerdo Núm. A/070/2017 abrogó la Directiva sobre la determinación de las zonas geográficas para fines de distribución de gas natural DIR/GAS/003/96 publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de septiembre de 1996 (DOF, 2018c) y que se muestran en **Figura 5.39**.



Figura 5.39. Zonas geográficas de distribución vigentes al amparo del marco regulatorio anterior (Directiva DIR/GAS/003/96). Fuente: CNH (2018f).

A pesar de lo anterior, la determinación de la zona geográfica única respeta los términos y condiciones vigentes al amparo del marco regulatorio pasado. Es decir, los permisionarios en materia de distribución de gas natural que realicen sus

respectivas actividades en las zonas geográficas existentes que aún tienen un periodo de exclusividad vigente (**Figura 5.39**), se seguirán manteniendo bajo los mismos términos y condiciones que les fueron aprobados al momento de otorgarles el permiso, hasta que dicho periodo concluya (CRE, 2017).

5.5.4.5 Comercialización

El Reglamento de las Actividades a que se refiere el Título Tercero de la Ley de Hidrocarburos establece que la comercialización es la actividad de ofertar a usuarios o usuarios finales, en conjunto o por separado, uno o más de los servicios esquematizados en la **Figura 5.40** (DOF, 2014i).








Servicios	(I) Compraventa de molécula	Hidrocarburos 	Petrolíferos 	Petroquímicos 
	(II) Gestión y contratación de servicios	Transporte 	Almacenamiento 	Distribución 
	(III) Prestación o intermediación de servicios de valor agregado	Coberturas y Financiamiento 	Administración de volúmenes de consumo 	Diversas modalidades de contratación 

Figura 5.40. Servicios de la comercialización. Fuente: DOF (2014i).

5.5.4.5.1 Participantes y actividades

La Unidad de Gas Natural de la Comisión Reguladora de Energía realiza la “Expedición del título de permiso de comercialización de gas natural”.

La Ley de Hidrocarburos establece que los permisos se otorgan a Pemex, a otras empresas productivas del Estado y a particulares con base en el Reglamento de la Ley de Hidrocarburos. El Particular se entiende como Persona física o Persona Moral; esta última definida como una sociedad mercantil constituida de conformidad con la legislación mexicana (Ley General de Sociedades Mercantiles).

La CRE registra 59 permisos para la prestación del servicio de comercialización a usuarios finales que incluyen a la industria eléctrica, manufacturera, comercios, hogares y transporte.

5.6 Conclusión: retos y barreras

La **Tabla 5.60** presenta los retos y barreras en la exploración y extracción de gas de lutitas por etapas (Rivard, y otros, 2014).

Tabla 5.60. Retos y barreras por etapas. Fuente: Elaboración propia con información de Rivard, y otros (2014).

Etapa	Retos
<i>Condiciones de la formación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Yacimientos de alta presión: éstos requieren gran cantidad de lodo de perforación y aditivos químicos para asegurar que el pozo no experimente una explosión
	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación de agua subterránea: cuando se perfora a altas presiones es fácil que el gas se filtre o migre hacia arriba una vez fracturado y alcance fuentes de agua subterránea
	<ul style="list-style-type: none"> • Escasez de agua: algunos pozos podrían usar millones de galones de agua para mitigar la presión que se encuentra. Usar grandes cantidades de agua en fluidos de perforación podría incrementar el riesgo de su escasez
<i>Perforación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de fluido o pérdida de circulación: ocurre cuando el fluido de perforación penetra la formación y el pozo se descontrola. En la pérdida parcial algo de lodo regresa a la superficie, en la pérdida total no se recupera nada de lodo.
	<ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidad del agujero: cierre o colapso del agujero, fractura de las paredes del agujero y alargamiento del agujero.
	<ul style="list-style-type: none"> • Atasco de la tubería: uno de los principales problemas que consiste en el atascamiento de la sarta de perforación. Ocurre por la limpieza impropia del agujero (acumulación excesiva de cortes de perforación en el fluido del espacio anular) o el cierre del agujero (el peso del lodo es bajo y causa el colapso del agujero).
<i>Fractura hidráulica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en las emisiones de equipo de bombeo y servicios de camiones que realizan las operaciones de fractura. • Incremento en las emisiones de la quema del gas producido debido a restricciones operacionales. • Emisiones no intencionales o derrames de compuestos químicos usados para mejorar el proceso de fractura.

La exploración y extracción de gas de lutitas se asocia con impactos económicos como la creación de empleos y pago de rentas y regalías. No obstante, los impactos ambientales son el aspecto más controversial en la industria del gas de lutitas. La **Tabla 5.61** presenta algunos otros retos agrupados por temas.

Tabla 5.61. Retos y barreras por temas. Fuente: Elaboración propia con información de Tuft (2015) y Rezaee (2015).

Tema	Retos
<i>Disponibilidad de agua</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Administrar los recursos acuíferos, especialmente en zonas áridas (Rezaee, 2015). • Usar sustentablemente los recursos subterráneos para la fractura de la formación (Rezaee, 2015).
<i>Protección del agua</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proteger los recursos de agua existentes tanto superficial como subterránea (acuíferos) de contaminación de agua salina, gas o fluidos de fractura durante el proceso de la fractura hidráulica (Rezaee, 2015).
<i>Programas de cementación, perforación y revestimiento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar programas de perforación, revestimiento y cementación para aislar zonas con capas de agua de las de gas (Rezaee, 2015). • Pruebas para validar el desempeño y diseño del pozo para redundancia (Rezaee, 2015). • Prevenir que los lodos de perforación entren a acuíferos superficiales, la corrosión de revestimiento de acero (Rezaee, 2015).
<i>Diseño del tratamiento de fractura</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Usar técnicas robustas y sofisticadas para producir un tratamiento controlado dentro de una formación objetivo específica; incluyendo la implementación de técnicas microsísmicas de mapeo de fractura durante el tratamiento (Rezaee, 2015).
<i>Proceso de fractura</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Usar pruebas / certificación de equipo y pozos previo al tratamiento de fractura para asegurar el pozo es correcto para el tratamiento, y la implementación de los tratamientos por etapas para asegurar fracturas controladas de intervalos discretos (Rezaee, 2015).
<i>Residuos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Usar de manera segura los lodos generados (Tuft, 2015).
<i>Manejo de agua</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir el riesgo de contaminación de agua subterránea por actividades superficiales (fuga de embalses superficiales, derrames de fluidos de fractura hidráulica o mal manejo de fluidos de perforación) (Tuft, 2015). • Usar prácticas administrativas adecuadas de manejo de agua residual (almacenamiento, tratamiento y disposición del agua de retorno y agua producida) (Tuft, 2015).

	<ul style="list-style-type: none"> • Tratar y disponer responsablemente el agua de la exploración y producción como parte de un plan de administración ambiental; incluyendo (Rezaee, 2015): <ul style="list-style-type: none"> ○ Inyección en sitio dentro de formaciones permeables y porosas cuando estén disponibles en el sitio ○ Transporte y disposición en sitios de inyección remota ○ Tratamiento en sitio ○ Reuso de fluidos para tratamiento de otros pozos ○ Suministrar agua a otros usuarios que podrían beneficiarse (por ejemplo, minas cercanas)
Fuentes de contaminación	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la complejidad de procesos hidrogeológicos, investigar y desarrollar pruebas de líneas base de pozos de agua cercanos previo a perforar y fracturar (Tuft, 2015).
Compuestos químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar certeza y disminuir la confidencialidad en la información de compuestos para fractura hidráulica (Tuft, 2015).
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar las leyes y regulación de gas y aceite para manejar la fractura hidráulica más integralmente (Tuft, 2015). • Implementar mejores prácticas para la construcción e integridad de pozos para la fractura hidráulica (Tuft, 2015). • Manejar los riesgos ambientales con la estructura regulatoria que asegure controles ambientales adecuados (Rezaee, 2015).
Vigilancia	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar el número de inspectores que vigilen las actividades de exploración y extracción (Tuft, 2015).
Económicos / Comerciales	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la incertidumbre alrededor de la viabilidad comercial de gas de lutitas, la rentabilidad en Estados Unidos no es necesariamente comparable con la de otras áreas (Rezaee, 2015).
Otros temas ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Administrar materiales radioactivos producidos naturalmente del subsuelo, que podrían estar dentro de los cortes de perforación y disueltos dentro del agua producida y que precipitan con el tiempo (Rezaee, 2015). • Manejar la calidad del aire resultantes de omisiones asociadas con la infraestructura de producción y equipos (Rezaee, 2015). • Manejo de las emisiones de carbón dentro de una economía de precio del carbón con un impacto en la perspectiva ambiental y comercial (Rezaee, 2015).

- Asegurar nivel aceptable de impacto tecnogénico en el ambiente (Tuft, 2015).
- Uso competitivo del suelo con otros usos, por ejemplo, tierra agrícola e incluso urbana (Rezaee, 2015).

La Figura 5.41 esquematiza las principales preocupaciones ambientales de la producción de gas de lutitas (Zhiltsov, 2017), algunas de las cuales se resumen en la **Tabla 5.62** (Anurodh & Devleena, 2017).

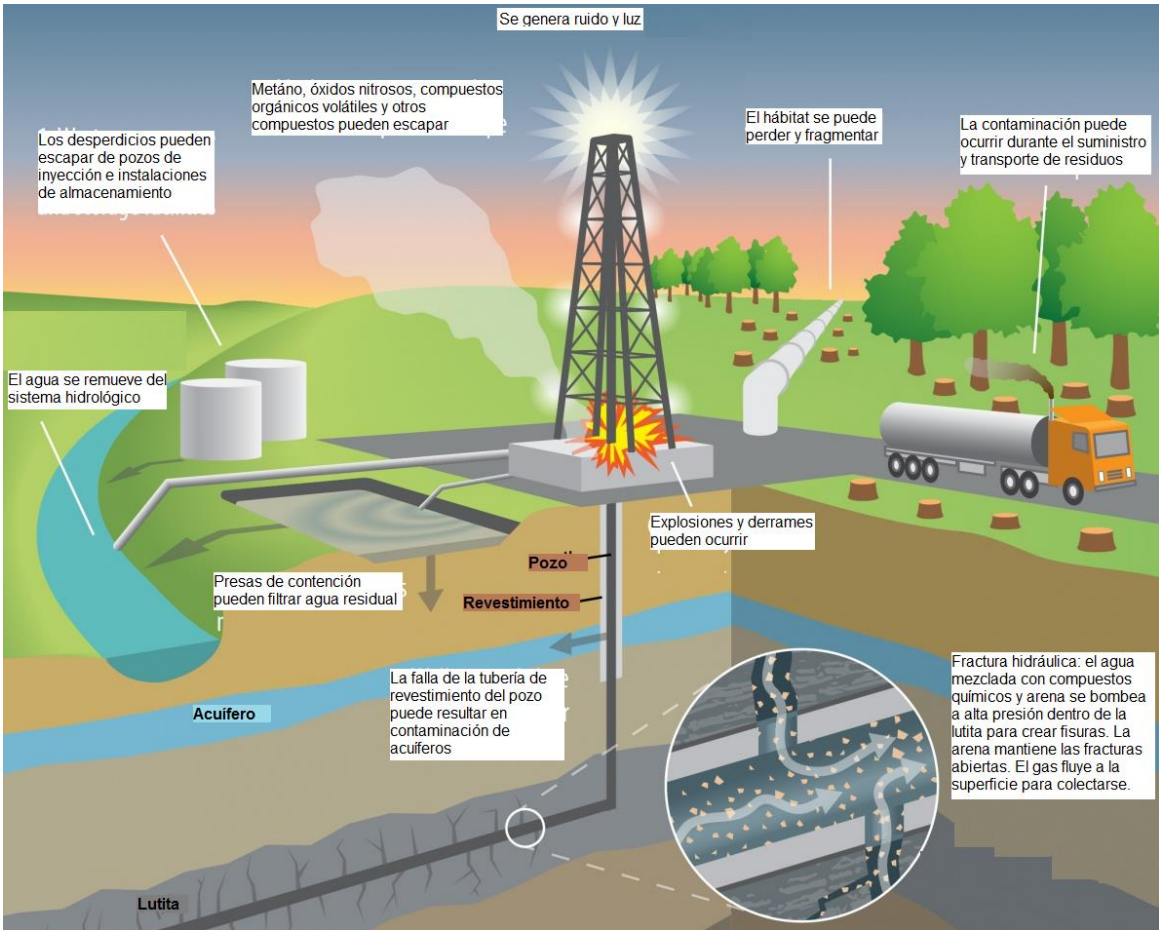


Figura 5.41. Preocupaciones ambientales relacionadas con la producción de gas de lutitas. Fuente: Modificado de Zhiltsov (2017).

Tabla 5.62. Principales preocupaciones ambientales. Fuente: Elaboración propia con información de Anurodh & Devleena (2017).

Preocupación	Descripción
Sismicidad inducida	La actividad sísmica de la exploración podría inducir mayor sismicidad. El monitoreo de la operación y regulación de las normas de seguridad es recomendable en la exploración.

Preocupación	Descripción
Contaminación de agua	La fractura hidráulica requiere grandes volúmenes de agua. El agua de retorno y el agua producida podrían contaminar el agua superficial mediante fugas y derrames. En Estados Unidos no existen casos de contaminación de acuíferos.
Emisiones atmosféricas	La producción de gas de lutitas podría contribuir a la emisión de metano, compuestos orgánicos volátiles y óxidos nitrosos a la atmósfera. Las emisiones al aire pueden controlarse o reducirse usando sistemas de escape.
Peligros a la salud	Los compuestos químicos asociados con el agua de retorno y emisiones atmosféricas podrían tener impacto en la salud humana. La probabilidad de problemas relacionados con la salud es mínima por la pequeña cantidad de compuestos químicos añadidos en la fractura hidráulica. Tales casos no han sido reportados en áreas de extracción de gas de lutitas.
Impacto en agua y ambiente	El manejo del agua es la parte más importante en los sitios de extracción de gas de lutitas. La disposición es un asunto importante en la administración de agua residual. Las precauciones se deben tomar para el reuso y disposición del agua para evitar fugas, derrames y contaminación.
Contaminación auditiva	Los compresores, generadores y manejo de tubería son las principales fuentes de ruido. Por seguridad, la industria debe monitorear los niveles de ruido las 24 horas. Cuando se detectan niveles altos, se deben tomar medidas preventivas.

En resumen, la **Tabla 5.63** identifica los tipos de contaminación y disturbios más importantes en la exploración y extracción de yacimientos de gas de lutitas (Zhiltsov, 2017).

Tabla 5.63. Tipos de disturbios. Fuente: Elaboración propia con información de Zhiltsov (2017).

Disturbio	Implicaciones
Disturbio geomecánico	Deformación del macizo rocoso Paisaje con aparición de cuevas, minas, presas y vertederos
Disturbio hidrodinámico	Aumento del agua subterránea Cambios en la salinidad del agua, turbidez y temperatura
Disturbio biomorfológico	Destrucción, alteración de la composición de especies Disminución de productividad Reducción superficial de la distribución de flora y fauna

Disturbio	Implicaciones
<i>Contaminación de la litósfera</i>	Construcción de pozos Entierro superficial y subterráneo de desperdicios Derrames de aceite Movimiento del lodo de perforación en la formación Inyección de fluidos para fractura Cambios en el régimen hidrogeológico del suelo

Tuft (2015) provee una evaluación tecnológica de las prácticas de administración y abastecimiento de agua existentes y emergentes en regiones productoras de gas de lutitas en los Estados Unidos. La **Tabla 5.64** presenta hallazgos relevantes que ponen en perspectiva y permiten dimensionar los retos y barreras.

Tabla 5.64. Hallazgos en temas relevantes relacionados con el agua subterránea. Fuente: Elaboración propia con información de Tuft (2015).

Tema	Hallazgos
<i>Regulación de la inyección subterránea</i>	En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) no ha regulado la inyección subterránea de fluidos para fractura hidráulica de pozos productores de gas o aceite. La Ley de Agua Potable Segura (SWDA, por sus siglas en inglés) es el principal estatuto federal para regular la inyección subterránea de fluidos para proteger las fuentes de agua subterránea de agua potable. No obstante, el término inyección subterránea excluye la inyección de fluidos y agentes apuntalantes que se usan para fractura hidráulica. Por lo que la EPA carece de autoridad bajo esa ley para regular dicha actividad (Tuft, 2015).
<i>Contaminación de agua subterránea por perforación de pozos</i>	En los casos investigados, los reguladores han determinado que las fallas en el revestimiento y cementación, los problemas de operación del pozo o las actividades superficiales en vez de la fractura hidráulica causan la contaminación de agua subterránea (Tuft, 2015). Sellar el agua subterránea y aislarla de posible contaminación es común al desarrollo de cualquier pozo de gas y aceite, sin ser únicos a la fractura hidráulica. Por ello, los estados revisan los requerimientos de cementación y construcción de pozos para manejar la fractura hidráulica (Tuft, 2015).
<i>Contaminación de agua subterránea</i>	Los reguladores no han identificado a la fractura hidráulica de formaciones de lutitas como la causa directa de contaminación de agua subterránea.

Tema	Hallazgos
por fractura hidráulica	Los datos sugieren que la fractura hidráulica (en zonas profundas) presenta un bajo riesgo de contaminación a fuentes subterráneas de agua potable, la mayoría de los reportes de contaminación se asocian a actividades superficiales o problemas de construcción y operación de pozos, no a la fractura hidráulica por sí misma (Tuft, 2015).
Sismicidad inducida	Una teoría sugiere que los fluidos de inyección pueden desencadenar terremotos si las presiones, tasas y permeabilidad son suficientes para permitir que el fluido alcance una falla orientada favorablemente y reduzca el estrés normal, disminuyendo la fuerza de la falla (Tuft, 2015). El potencial depende de varios factores: (1) el estado del estrés subterráneo; (2) la presencia o ausencia de fallas; (3) porosidad y permeabilidad (transmisibilidad) de fluidos; (4) la tasa de bombeo de los fluidos inyectados y el diferencial de presión desarrollado (Tuft, 2015).

5.6.1 Estándares y mejores prácticas para el desarrollo de gas y aceite de lutitas

La Universidad de Pittsburgh recopiló en un reporte las organizaciones de alto nivel que han desarrollado estándares o mejores prácticas administrativas para el desarrollo de gas y aceite de lutitas y su regulación (University of Pittsburgh, 2013), éstas pueden servir de referencia para manejar los retos y barreras (Tabla 5.65).

Tabla 5.65. Organizaciones que desarrollan estándares o mejores prácticas para el desarrollo de shale gas y aceite de lutitas y su regulación. Fuente: Elaboración propia con información de University of Pittsburgh (2013).

Organización	Mejores prácticas
American Petroleum Institute (API, 2020)	Programas de certificación basados en estándares en categorías como operaciones de perforación y producción, exploración y producción, medición, tuberías, seguridad de procesos, refinación, entre otros.
Appalachian Shale Recommended Practices Group (Appalachian Shale Responsible Producers Group, 2012)	Principios generales y planeación. Selección, evaluación, diseño y construcción del sitio. Operaciones de perforación, terminación, producción Relaciones con dueños de la tierra

Organización	Mejores prácticas
Center for Sustainable Shale Development (CSSD, 2020)	Estándares sobre aire y clima. Estándares de desempeño en agua superficial y subterránea
Environmental Defense Fund (EDF, 2020)	Marco de referencia regulatorio sobre pozos: planeación, operaciones de perforación, revestimiento, cementación, terminación, fractura hidráulica, producción, monitoreo, taponamiento y abandono)
Intermountain Oil and Gas Best Management Practices Project (Intermountain Oil and Gas BMP Project, 2020)	Base de datos con categorías sobre emisiones y calidad de aire, comunidad, agricultura, seguridad y salud humana, disturbio en superficie terrestre, ruido, vegetación, calidad de agua y contaminación, cantidad de agua y derechos, vida silvestre.
Investor Environmental Health Network (IEHN, 2020)	Mejores prácticas con el objetivo de asegurar integridad de pozos, revelar penas y litigios, reducir emisiones de aire, prevenir contaminación de agua, reducir y revelar compuestos tóxicos, reducir la huella superficial, asegurar consentimiento comunitario.

Otras fuentes proporcionan una revisión más detallada del desarrollo del gas de lutitas en Estados Unidos y Europa, incluyendo aspectos políticos y ecológicos en Alemania, Polonia, Hungría, Rumania, Bulgaria, Moldova, Ucrania, Rusia, Kazakistán y China (Zhiltsov, 2017), (Wang & Hefley, 2016).

También se pueden consultar las iniciativas de investigación y de regulación sobre la extracción de gas no convencional; incluyendo las de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y de Ministerio de Administración de Tierra (BLM) (Tuft, 2015).

5.6.2 Propuestas para el desarrollo de la industria nacional.

La CNH publicó un reporte exhaustivo del sector del gas natural. En el capítulo 9 describe propuestas para el desarrollo de la industria nacional relacionados con la oferta (*upstream, midstream y downstream*), demanda y transversales; clasificadas en el corto y mediano (CNH, 2018f).

La **Tabla 5.66** presenta el resumen de las propuestas que podrían considerarse como soluciones a retos y barreras en México y que como señala la CNH, “*podrán servir a la SENER como base para la formulación de políticas públicas para el sector de gas natural*” (CNH, 2018f).

Tabla 5.66. Resumen de propuestas para propiciar el desarrollo de la industria de gas natural. Fuente: CNH (2018f).

	Oferta			Demanda	Transversales
	<i>Upstream</i>	<i>Midstream</i>	<i>Downstream</i>		
Corto plazo	<p>1. Estudiar una política de reducción de uso de nitrógeno.</p> <p>2. Fortalecer los incentivos ala recuperación secundaria y mejorada.</p> <p>3. Incentivar la recuperación del gas contenido en los casquetes de yacimientos de gas natural asociado.</p> <p>4. Incluir, dentro del plan quinquenal de licitaciones más áreas de exploración y extracción que puedan incrementar la plataforma de producción de gas natural.</p> <p>5. Conformar una empresa productiva del Estado dedicada a la exploración y extracción del gas natural, a la cual se transferirían las asignaciones de gas natural no asociado, así como la infraestructura de procesamiento de gas.</p> <p>6. Promover agrupaciones (clustes) y asociaciones estratégicas de la empresa productiva del Estado.</p> <p>7. Reestructurar el régimen fiscal e incluir incentivos para apoyar el desarrollo de proyectos de gas natural.</p> <p>8. Implementar un programa integral para promover la producción de gas natural en yacimientos no convencionales.</p> <p>9. Desarrollar proyectos de infraestructura vial y de prestación de servicios en las áreas de yacimientos no convencionales, mediante acuerdos intersecretariales</p>	<p>13. Incorporar la obligación de tener almacenamiento de gas natural a grandes usuarios, que complemente la política de reserva estratégica; lo anterior, entre 20 y 30 días de consumo.</p> <p>14. Impulsar el desarrollo de instalaciones de almacenamientos subterráneos y superficiales de gas natural.</p>		<p>18. Extender la cobertura de distribución de gas natural en los sectores de servicios, residencial y comercial.</p> <p>19. Promover la formación de nodos de distribución, “hubs” que faciliten la comercialización del gas natural.</p> <p>20. Seguir impulsando el desarrollo de un mercado integral y competitivo de gas natural.</p> <p>21. Crear redes alternativas de transporte de gas natural para subsanar la demanda inmediata.</p> <p>22. Apoyar los mecanismos y la infraestructura para el uso masivo de vehículos de GNV (transporte público y transporte de carga).</p>	<p>23. Consolidar la cadena de suministro y el contenido nacional en el sector del gas natural.</p> <p>24. Apoyar programas de desarrollo de la industria petroquímica.</p> <p>25. Continuar con la reconversión de plantas eléctricas de combustóleo y carbón y sustituirlas por plantas de ciclo combinado con gas natural y con energías renovables.</p> <p>26. Desarrollar portafolios integrales de inversiones en toda la cadena de valor del gas natural.</p>

Oferta			Demanda	Transversales
Upstream	Midstream	Downstream		
Largo plazo	10. Incentivar la producción de gas natural de la empresa productiva del Estado y de los contratistas a través de contratos a largo plazo con los principales usuarios.	15. Asegurar la disponibilidad de gas natural en todo el territorio nacional complementando la red nacional de gas, construyendo la infraestructura de transporte y distribución necesaria.		
	11. Impulsar la integración entre exploración y producción de gas natural, con la generación de electricidad, ya sea por parte de CFE o de la empresa productiva del Estado que se conforme.	16. Promover el desarrollo de empresas proveedoras de servicios de recolección y procesamiento de gas natural.		
	12. Aprovechar la capacidad disponible de procesamiento en los CPG y de las plantas petroquímicas.	17. Diseñar un programa de seguridad en materia de gas natural a través de la diversificación de las importaciones de GNL.		

Por otra parte, la ASEA, SENER y CNH colaboraron en un proyecto que mediante una matriz implementó un enfoque noble y sistemático para identificar y evaluar los aspectos ambientales y sociales de proyectos de gas y petróleo en México (Purewal, Pacheco-Roman, Hernández Juárez, León Mella, & Mera AVECÍAS, 2019).

El uso de la matriz proporciona una herramienta consistente para identificar y entender mejor los aspectos ambientales y sociales que prevalecen en cada área contractual en la cual se desarrollan o busca desarrollar actividades de exploración y extracción de recursos convencionales y no convencionales en México (Purewal, Pacheco-Roman, Hernández Juárez, León Mella, & Mera AVECÍAS, 2019).

En conclusión, Purewal et al (2019) identifican que el principal reto en México es la aceptación de los proyectos de exploración y producción por parte de las comunidades locales, indígenas y otros grupos de interés, es decir, adquirir la licencia social para operar.

Capítulo Seis: Análisis de los resultados

6.1 Evaluación de la implementación de los lineamientos al caso de estudio

En este capítulo se analiza el contenido, presentación y relevancia de los lineamientos propuestos para la elaboración del estudio de línea base.

Con el fin de analizar la pertinencia de los resultados obtenidos, se llevaron a cabo entrevistas con dos grupos de especialistas. El primer grupo tiene experiencia práctica en talleres para elaboración de mapas de ruta tecnológica. El perfil de la experiencia de los tres especialistas entrevistados se presenta en la **Tabla 6.1**.

Tabla 6.1 Personas entrevistadas para evaluar la propuesta de estudio de línea base con experiencia en talleres para elaboración de mapas de ruta tecnológica. Fuente: Elaboración propia.

Experiencia	Ámbito de experiencia
Maestra en Gestión de Tecnología. Especialización en gestión de tecnología e innovación. Jefa de proyecto en el Instituto Mexicano del Petróleo.	Coordinación de proyecto Jefa de proyecto de mapas de ruta tecnológica en energías renovables de la Secretaría de Energía.
Doctor en Ingeniería Industrial. Planeación de la tecnología. Coordinador académico de Diplomado en Instituto Mexicano del Petróleo en el Instituto Mexicano del Petróleo.	Moderador de grupo en los talleres Facilitar la discusión de los grupos de participantes para la elaboración de los mapas de ruta tecnológica en energías renovables de la Secretaría de Energía. Diseño de instrumentos para la colecta de información.

El segundo grupo de entrevistados tiene experiencia en el sector petrolero, ya sea en temas de política, mercado, tecnología y/o cadena de valor relacionados con la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México. La **Tabla 6.2** muestra el perfil profesional de los tres expertos entrevistados.

Tabla 6.2 Personas entrevistadas para evaluar la propuesta de estudio de línea base con experiencia en temas del sector petrolero. Fuente: Elaboración propia.

Experiencia	Ámbito de experiencia
Doctor en Ingeniería Petrolera. Maestro de tiempo completo con especialización en yacimientos no convencionales	Tecnología Investigación en simulación de yacimientos y comportamiento de gases de yacimientos no convencionales de lutitas.
Maestro en Energía y Recursos Terrestres. Director de Información Estadística en la Comisión Nacional de Hidrocarburos en México	Tecnología, mercado y cadena de valor Participación en proyectos sobre el desarrollo de la industria de lutitas. Responsable de la publicación de datos estadísticos de la CNH, incluyendo yacimientos no convencionales.
Doctor en Ciencias Políticas. Ex asesor en la Subsecretaría de Hidrocarburos de la Secretaría de Energía en México	Mercado, regulación y cadena de valor Participación en la estrategia de comunicación para el aprovechamiento de yacimientos no convencionales de lutitas en México.

Las entrevistas se realizaron a dos grupos diferentes para evaluar el estudio de línea base desde dos perspectivas de usuario participante: (1) como miembro del equipo facilitador y (2) como especialista en el tema del taller del MRT.

El propósito particular de las entrevistas al primer grupo fue evaluar el estudio de línea base considerando su experiencia práctica en el diseño y facilitación de los talleres de MRT. Además, el primer grupo cubrió diversos roles como facilitadores de los talleres (líder, moderador y analista), por lo que se logra una visión integral del proceso de mapeo de ruta tecnológica.

El propósito de entrevistar al segundo grupo fue evaluar el estudio de línea base considerando que su experiencia cubre los temas propuestos para el caso del taller hipotético de elaboración de mapa de ruta tecnológica.

Previo a la entrevista se entregó para su revisión el estudio de línea base del caso en tres formatos distintos con carácter no exhaustivo: (1) reporte (**Capítulo Cinco**)

con resumen ejecutivo (**Anexo E**); (2) infografía (**Anexo C**) y (3) presentación (**Anexo D**).

Las entrevistas se realizaron de manera virtual durante la segunda y tercera semanas de abril de 2021, éstas tuvieron una duración aproximada entre 30 - 60 minutos. La **Tabla 6.3** presenta el instrumento de evaluación usado en las entrevistas.

El instrumento de evaluación fue el mismo para ambos grupos para poder comparar transversalmente las respuestas entre los grupos e identificar posibles diferencias.

Tabla 6.3 Instrumento de evaluación para evaluar la propuesta de estudio de línea base. Fuente: Elaboración propia.

Tema	Preguntas
Contenido	1. ¿Considera que el contenido del modelo de estudio de línea base propuesto en el formato reporte permite identificar los retos y barreras para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México? ¿Por qué? 2. ¿Qué temas adicionales debería considerar un estudio de línea base para identificar los retos y barreras para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México? ¿Por qué?
Presentación	3. ¿Cuál de los tres formatos de presentación de estudio de línea base le pareció más práctico para identificar retos y barreras para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México? ¿Por qué? 4. ¿Qué elementos de presentación debería considerar un estudio de línea base para identificar los retos y barreras sobre la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México?
Relevancia	5. ¿Considera relevante un estudio de línea base para identificar los retos y barreras en la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México? ¿Por qué?
Comentarios	6. ¿Tiene comentarios o sugerencias adicionales respecto al estudio de línea base para identificar retos y barreras sobre la exploración y extracción en yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México? ¿Cuáles?

Las preguntas buscan evaluar el contenido (pregunta 1 y 2), la presentación (pregunta 3 y 4) y la relevancia (pregunta 5) del estudio de línea base para identificar retos y barreras sobre la extracción y exploración en yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Adicionalmente, el instrumento permite identificar los comentarios y/o sugerencias (pregunta 6), respecto al tema. La siguiente sección presenta las respuestas agrupadas por tema y en caso necesario por grupo de entrevistados.

6.1.1 Contenido

Las personas entrevistadas en ambos grupos consideran que el contenido del estudio de línea base propuesto en el formato reporte si permite identificar los retos y barreras para la Exploración y Extracción de Yacimientos No Convencionales de Gas de Lutitas en México.

La identificación de los retos y barreras es posible porque el estudio de línea base cubre y desarrolla los temas básicos relacionados con el Mapa de Ruta Tecnológica. Los temas se cubren al agruparse en cuatro categorías: política, mercado, tecnología y cadena de valor. Estos a su vez se desglosan en subtemas y al menos incluye los más relevante y controversiales como son la fractura hidráulica, contaminación de acuíferos y sismicidad inducida. Asimismo, el desarrollo de cada subtema hace evidente los posibles retos y barreras.

No obstante, algunos entrevistados consideran que se deberían incluir temas adicionales en el estudio de línea base como son los aspectos sociales, la tenencia de la tierra, así como las tendencias en la industria petrolera en el marco de la transición energética, cambio climático y cero emisiones. Asimismo, sugieren la identificación de retos y barreras particulares a cada área geográfica de México.

En su caso, los entrevistados sugieren cubrir con mayor profundidad algunos temas que contiene el estudio de línea base como son los aspectos ambientales. Particularmente, la sismicidad inducida, así como el uso y manejo del agua.

Dada la naturaleza controversial del tema, se sugiere presentar la parte ambiental de manera más extensa y resaltar su contenido. Inclusive, se sugiere considerarlo al mismo nivel que los cuatro grandes temas de mercado, tecnología, política y cadena de valor. En ese sentido, también se sugiere desglosar su desarrollo en subtemas.

6.1.2 Presentación

Las personas entrevistadas expertas en temas del sector petrolero coinciden en que la infografía y la presentación son los formatos de estudio de línea base más práctico para identificar retos y barreras del caso de estudio. Lo anterior, porque ambos formatos son cortos, con elementos visuales e información resumida que permiten su consulta rápida para cumplir de forma directa con el propósito de identificar los retos y barreras.

De cualquier manera, los entrevistados con experiencia en talleres para elaboración de mapas de ruta tecnológica consideran que los tres formatos son útiles para identificar retos y barreras. Sin embargo, cada formato cumple diferentes funciones según el perfil de los lectores y la etapa del taller.

La presentación y extensión de la información en los tres formatos asegura cubrir los diversos requerimientos de información por parte de los participantes, el cual depende de su interés y nivel de especialización en el tema e inclusive disponibilidad de tiempo para consulta del material.

Los especialistas del grupo de especialistas en mapeo de ruta tecnológica coinciden en que el formato de reporte extenso es útil para los participantes previo a los talleres y necesario para la preparación del grupo facilitador en el tema del mapa de ruta. La infografía es útil durante el taller de mapa de ruta para consulta y pronta referencia de los asistentes. La presentación es necesaria para el grupo facilitador como guía de la discusión durante el taller y para los participantes como medio de visualización y seguimiento de los temas.

De cualquier manera, el reporte extenso es el más adecuado por el contenido, profundidad y la manera como se abordan los temas. Por su parte, el resumen ejecutivo del reporte cumple la función de presentar una visión general del contenido y promover el interés del lector. Por ello, el formato de reporte experto debe considerarse como la base para desarrollar formatos más cortos como el resumen ejecutivo, la presentación e infografía.

Por otra parte, el estudio de línea base debe considerar en un balance entre elementos gráficos, matrices, tablas y texto. El texto plano no es recomendable. Las figuras, mapas, tablas, matrices son elementos que permiten capturar la atención de los lectores y altamente recomendables.

En ese sentido, los responsables de la elaboración del estudio de línea base tienen que evaluar la manera más eficiente de presentar la información. Las matrices y tablas que no provienen de fuentes primarias son parte del trabajo de análisis y síntesis de los responsables del estudio de línea base. La calidad del estudio de

línea base depende de los autores, por lo que se recomienda sea revisada especialistas en el tema previo a su distribución como material de referencia de los talleres.

6.1.3 Relevancia

Ambos grupos entrevistados consideran de manera unánime que el estudio de línea base es relevante para identificar los retos y barreras en la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México. Lo anterior porque proporciona un diagnóstico de la situación actual con información previamente recopilada y sintetizada que permite deducir las problemáticas relacionadas con el tema. Además, tiene una sección explícita de retos y barreras que se obtienen del diagnóstico.

El estudio de línea base provee una visión preliminar y holística del tema a los participantes de los talleres de mapa de ruta tecnológica. Al establecer cierto contenido se informa y orienta a los participantes en los aspectos que se discutirán en los talleres. Al cubrir contenido diverso relacionado con el tema, se cierran brechas de conocimiento entre los participantes. De tal forma que las discusiones parten de una referencia común y se orientan a profundizar en los temas de interés.

La identificación preliminar de retos y barreras permite orientar la discusión y profundizar en aspectos relevantes que requieren consenso entre los participantes. Por lo que el taller es más eficiente en tiempo y efectivo en su propósito de identificar los retos y barreras relacionados con el caso de estudio.

Las personas expertas en temas relacionados con la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas consideran que el estudio de línea base es un documento de referencia para las discusiones porque brinda a los participantes información relevante y actualizada.

Por su parte, las personas que han participado en talleres de mapas de ruta tecnológica consideran que la elaboración del estudio de línea base es parte de la preparación necesaria del equipo facilitador del taller. Los facilitadores de los talleres necesitan un estudio de línea base para conocer el tema y moderar de manera informada las discusiones.

6.1.4 Comentarios

Las personas que han participado en talleres de mapas de ruta tecnológica consideran que la elaboración del estudio de línea base consume recursos, pero representa un esfuerzo valioso y necesario para la preparación de un taller. Por ello, prevalece el reto de establecer mecanismos que permitan asegurar que los

participantes (expertos y facilitadores) consulten y aprovechen al máximo el estudio de línea base.

En ese sentido, se sugiere que los responsables de la elaboración del estudio de línea base tengan habilidades para resumir la información sin perder el contenido y claridad, citar las fuentes de la información y presentar una narrativa coherente. Asimismo, la presentación de los reportes debe considerar un diseño gráfico (fuentes, colores, etc.).

En la medida de lo posible, el estudio de línea base debe limitarse a presentar la información de manera imparcial, evitando revelar una postura o sesgo respecto al tema de estudio. Finalmente, la identificación de retos y barreras requiere una definición clara de ambos conceptos, por lo que se debe incluir dentro del estudio de línea base. En su caso, presentar de manera explícita e identificable ambos grupos de retos y barreras.

Por su parte, las personas expertas en temas relacionados con la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas consideran que el estudio de línea base es un documento útil porque fomenta la discusión del tema.

Si bien se sugiere identificar retos y barreras particulares a cada área geográfica de México, también se reconoce que la identificación general en el estudio de línea base es útil para fomentar la discusión de particularidades en los talleres.

En ese sentido, sugieren necesario y pertinente continuar con el paso siguiente: promover los talleres colaborativos para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica. Lo anterior dada la polémica y la existencia de diversos grupos de interés alrededor del tema.

Las entrevistas para evaluar el estudio de línea base también proporcionan información que permite revisar los lineamientos propuestos en un inicio y con los cuales se elaboró el estudio de línea base. Por lo que se pueden identificar posibles ajustes a los mismos.

Un lineamiento que requiere ajuste es el contenido, éste se debe presentar según la relevancia de los temas relacionados con el MRT. En el caso de estudio particular, los expertos consideran que el tema ambiental y social debería presentarse al inicio.

Otro lineamiento que se debe reconsiderar es el del formato de presentación del estudio de línea base. El formato dependerá de la audiencia que participa en los talleres de MRT. A medida que las personas son más expertas en el tema, se sugieren formatos información cortos, con datos puntuales.

Dentro de los lineamientos relacionados con las referencias, se considera necesario documentar claramente las referencias de la información; así como tenerla disponible en caso de que sea requerida.

Otro lineamiento a considerar es que el estudio de línea base debe definir los términos que se usarán en contexto particular del taller de MRT. En el caso de estudio, el grupo de entrevistados con experiencia en sugiere definir los términos “reto” y “barrera” para que los participantes lo consideren y participen asertivamente en la identificación de los mismos.

Finalmente, dentro de los lineamientos se debe considerar que los estudios de línea base deben ser elaborados por los facilitadores de los talleres de MRT. Lo anterior beneficia con la familiarización del tema;

Capítulo Siete: Conclusiones

Las referencias a un estudio de línea base para los talleres de mapa de ruta tecnológica son limitadas. La referencia principal corresponde a la Agencia Internacional de Energía, la cual bosqueja elementos de elaboración del estudio de línea base sin ejemplos concretos para su verificación.

Por ello, la presente investigación establece los elementos que permiten proponer lineamientos que se deben considerar para elaborar un estudio de línea base para los talleres de mapas de ruta tecnológica en el sector energía. Ésta se implementó al caso de estudio hipotético de un taller de elaboración de mapa de ruta tecnológica para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Por lo anterior, las conclusiones se presentan en dos sentidos:

1. La propuesta de lineamientos que configuran una guía
2. La implementación de los lineamientos al caso de estudio.

Propuesta de lineamientos que configuran una guía

En principio, los lineamientos propuestos proveen las bases necesarias en contenido, fuentes y presentación para generar un estudio de línea base. Los elementos que deben considerarse para generar un estudio de línea base para talleres de mapas de ruta tecnológica en sector energético pueden extrapolarse a otros sectores.

El contenido del estudio de línea base depende del tema y la estructura planeada del mapa de ruta tecnológica. La estructura al menos debe cubrir las preguntas fundamentales ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Por qué? El tema debe abordarse con un diagnóstico de la situación actual al menos en cuatro aspectos esenciales: política, tecnología, mercado y cadena de valor. También es relevante incluir las tendencias y/o pronósticos internacionales del tema, a nivel nacional e internacional.

Las fuentes de información del estudio de línea base también dependen del tema. No obstante, las fuentes esenciales incluyen estudios, reportes, prospectivas y bases de datos sobre el tema generados a nivel nacional o internacional por el gobierno, industria y consultoras independientes en aspectos de política, tecnología, mercado y cadena de valor. En sí, el estudio de línea base debería aprovechar y compilar los resultados de las investigaciones que ya se hayan hecho respecto al tema.

La presentación del estudio de línea base es clave para que los facilitadores y participantes de los talleres comprendan los diferentes elementos que abarca el MRT. Éste debe ser claro, conciso con información relevante y visualmente atractivo. Asimismo, identificar las fuentes y responsables de su elaboración y validación. El estudio de línea base debe ser enviado con anticipación a los talleres de mapa de ruta tecnológica para que sirva el propósito de ser material de referencia.

El estudio de línea base es relevante porque permite una visión preliminar y holística del tema a todas las personas involucradas en el taller de mapa de ruta tecnológica: los moderadores, analistas y grupos de interés participantes.

Asimismo, el estudio de línea base es relevante por su función informativa y como marco de referencia, pues brinda una fuente común e inmediata de datos correctos y validados. Por ello, asegura una plataforma de conocimiento común entre los facilitadores y participantes; así como guiar de manera informada y efectiva la discusión colectiva. La anterior permite una discusión fructífera con calidad en la información generada.

Adicionalmente, el estudio de línea base es relevante porque el proceso de elaboración permite definir una estructura preliminar del mapa de ruta, prever los temas relevantes de discusión, así como conocer al sector y sus actores, permitiendo identificar a las personas que conocen el tema y podrían aportar información crítica.

Implementación de los lineamientos al caso de estudio.

La implementación de los lineamientos al caso de la exploración y extracción en yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México permitió presentar un ejemplo concreto de estudio de línea base con el cual se muestra y verifica la aplicación de los lineamientos que conforman la guía.

La exploración y extracción en yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México es un tema polémico y de interés nacional. La elaboración del estudio de línea base permitió generar un diagnóstico de la situación actual en política, tecnología, mercado y cadena de valor en el contexto de México.

El diagnóstico del estudio de línea base contiene los aspectos básicos para identificar los retos y barreras en la exploración y extracción en yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México. Por lo que representa una fuente de consulta organizada, confiable y actualizada sobre el tema.

El estudio de línea base sienta las bases para realizar el taller de elaboración del mapa de ruta tecnológica, en el cual todos los grupos de interés identifiquen los retos y barreras que permitan definir y establecer una estrategia justificada y motivada de política energética en esta materia.

El estudio de línea base es parte clave del proceso de planeación y soporte de los talleres para la elaboración del mapa de ruta tecnológica. Por ello, el siguiente paso debe incluir el uso del estudio de línea base para la elaboración del mapa de ruta tecnológica respectivo. Lo anterior requiere la participación activa de los grupos de interés en talleres especialmente planeados para recopilar y discutir la información.

El prever talleres colaborativos para la elaboración de un mapa de ruta tecnológica sobre el tema representa una iniciativa valiosa y apropiada para abordarlo dada la polémica y la existencia de diversos grupos de interés alrededor del tema.

Los resultados obtenidos confirman que los estudios de línea base son un elemento necesario en el mapeo de ruta tecnológica y que el estudio de línea base para el mapeo de ruta tecnológica en el ámbito del sector energético comprende la revisión de aspectos tecnológicos, de mercado y políticos que contextualizan el propósito del mismo. Este diagnóstico integral de la problemática que se busca resolver en el ámbito sectorial sirve de base a los facilitadores y especialistas que participen en los talleres.

En ese sentido, la presente investigación cumplió el objetivo general porque se logró establecer lineamientos prácticos para elaborar el estudio de línea base para talleres de mapas de ruta tecnológica en el sector energía. Asimismo, se cumplió el objetivo de implementar los lineamientos para generar un estudio de línea base para un taller de elaboración de mapa de ruta tecnológica para la exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México.

Los lineamientos se orientan a estudios de línea base para talleres de MRT dentro del sector energía. Por lo que el alcance de los lineamientos se circunscribe a MRT a nivel sectorial y gubernamental, más no a nivel empresarial o interempresarial. En particular, los lineamientos son directamente aplicables dentro del sector energía.

La elaboración del mapa de ruta tecnológica está fuera del alcance porque requiere la participación activa de los grupos de interés, la cual ocurre en los talleres especialmente planeados para recopilar y discutir información. No obstante, el estudio de línea base es parte clave del proceso de planeación y soporte de los talleres.

Los lineamientos propuestos son aplicables en el contexto del sector energía. Sin embargo, éstos podrían considerarse como base y ajustarse para estudios de línea base en otros sectores. La presentación del caso de estudio facilita identificar la manera cómo se aplican los lineamientos y en ese sentido la manera cómo se podrían ajustar según el contexto para el que se requiera elaborar el estudio de línea base.

La presente investigación conlleva a identificar temas que deben abordarse en trabajos futuros en dos sentidos: (1) el proceso de mapeo de ruta tecnológica y (2) la exploración y extracción de recursos no convencionales.

En el proceso de mapeo de ruta tecnológica se debe profundizar en la evaluación de los métodos más efectivos que garanticen que los participantes consulten y usen el estudio de línea base. En ese sentido, se identifica relevante establecer lineamientos para definir el perfil y seleccionar a los participantes de los talleres de MRT.

En el tema de exploración y extracción de recursos no convencionales se identifican necesarios los estudios que caractericen el aspecto social y ambiental según las condiciones particulares de las regiones que tienen ese tipo de recursos en México. Asimismo, hacer pública la información de las actividades de exploración y extracción que se han hecho en los yacimientos no convencionales en México, particularmente datos ambientales de interés como el consumo de agua, uso de compuestos químicos y la posible actividad sísmica detectada.

Anexo A Diagrama de mapa de ruta tecnológica

La **Figura A.1** muestra de manera ilustrativa uno de los diagramas de mapas de ruta tecnológica analizados. El **Anexo B** presenta la lista de todos los diagramas consultados y analizados.



Figura A.1. Diagrama de mapa de ruta tecnológica de geotermia publicado por la Secretaría de Energía. Fuente: SENER (2018b).

Anexo B Lista de reportes y diagramas de mapa de ruta

La **Tabla B.1** presenta los diagramas y reportes de mapas de ruta tecnológica consultados; así como su ubicación en la red para pronta referencia.

Tabla B.1. Reportes y diagramas de mapa de ruta tecnológica consultados.

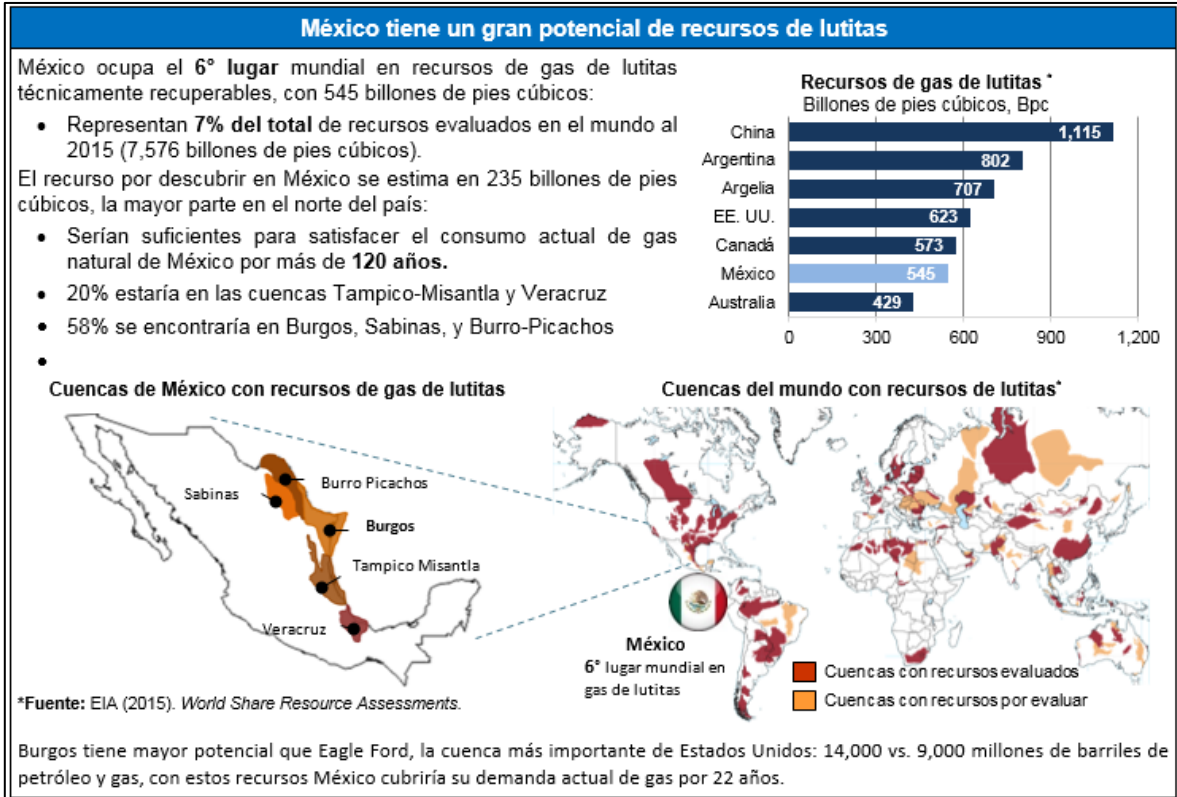
Fuente: SENER (2018b).

#	Energía renovable	Documento	Ubicación en la red
1	Energía Solar Térmica	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341708/MRT_TS_SENER_Final_Rev1.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341705/Eschema_MRT_TS.pdf
2	Biogás	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329895/Mapa_Ruta_Tecnologica_BIOGAS_Final-Red.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329893/Diagrama_MRT_BG_Final.pdf
3	Biodiésel	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/313545/Mapa_Ruta_Tecnologica_BIODIESEL_200318-RED1.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/313543/MRT__DIAGRAMA_BODIESEL_27_12_17.pdf
4	Biocombustibles solidos	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306074/Mapa_de_Ruta_Tecnologica_BCS_SENER_220218-Red1.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306071/Diagrama_MRT_BCS_22_02_2018.pdf
5	Bioetanol	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296710/MRT_BIOETANOL_02022018_06_Feb_18-RED2.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296706/Eschema_MRTBioetanol_19_12_2017.pdf
6	Bioturbosina	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324219/MRT_Bioturbosina_Final.pdf

		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324017/Diagrama_MRT_Bioturbosina_Final.pdf
7	Geotermia	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279714/MRTGEO_SENER_V_20_Oct_Rev_2-OPT.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279717/Esquema_MRT_Geotermia_20_Oct.pdf
8	Energía del Océano	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279712/MRTOCEANO_SENER_V_1311_2017-2_OPT.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279867/ESQUEMA_MRTOCEANO_SENER_VERSION_FINAL_REV2..pdf
9	Energía Solar Fotovoltaica	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280283/MRT_SOLAR_FV_11DIC17-OPT.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280279/Esquema_MRTSF_12_12_2017.pdf
10	Energía Eólica	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280278/MRT_E_LICO_13DIC17_-2-OPT.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280274/ESQUEMA_MRTEE_12_12_17.pdf
11	Usos Directos del Calor Geotérmico	Reporte	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416191/MRT_UDCG_Final.pdf
		Diagrama	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416192/Esquema_MRT_UDC_Final.pdf

Anexo C Estudio de línea base. Formato infografía

El Anexo presenta una propuesta de estudio de línea base en formato de infografía de manera no exhaustiva y sólo con fines ilustrativos.



Los recursos no convencionales usan tecnología madura y segura

La fractura hidráulica es una técnica que consiste en inyectar a presión agua, arena y un poco de aditivos para crear canales en la roca y liberar el gas y petróleo atrapado.

- Inició en los 50's, se ha probado y perfeccionado con más de un millón de pozos perforados en los últimos 60 años.
- Los avances han permitido producir más gas natural y reducir el impacto al medio ambiente.

Aspectos relevantes sobre la fractura hidráulica:

- Ocurre cientos de metros alejada del nivel freático: la separación es casi 10 veces la Torre Latinoamericana.
- Usa aditivos para tratar la formación efectivamente, el fluido produce la fractura y la arena la mantiene abierta.
- Usa varios compuestos comunes: la concentración y cantidad varía, pero es menor de 0.5% el volumen.

Composición típica del fluido para la fractura hidráulica

Goma guar:

Pan, helado, pasta de dientes

Isopropanol:

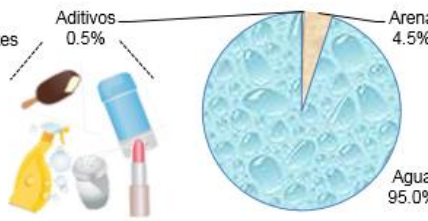
Limpiador de vidrios

Etilenglicol:

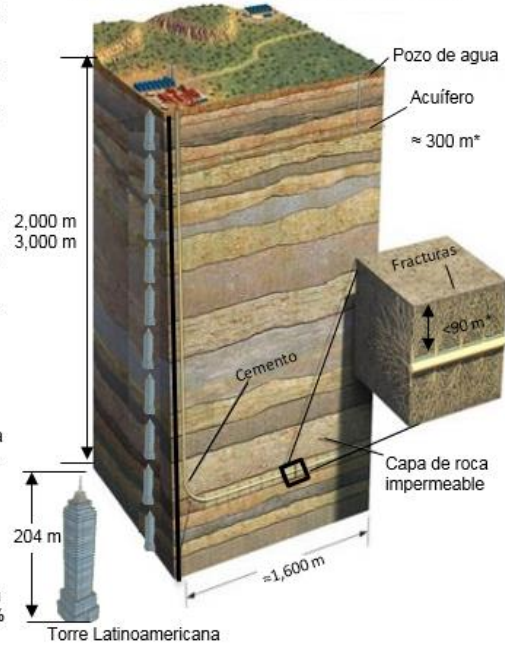
Limpiadores del hogar

Per sulfato de amonio

Cosméticos



Distancia a escala de la fractura hidráulica



Fuente: Fracfocus.org (2017). *Hydraulic fracturing: the process*; *Knight, G.E. (2012) *Hydraulic fracturing 101*.

Medidas de seguridad en los pozos en yacimientos no convencionales

Si bien la fractura hidráulica es un proceso que requiere supervisión y vigilancia, la integridad mecánica de los pozos es fundamental para cuidar al ambiente.

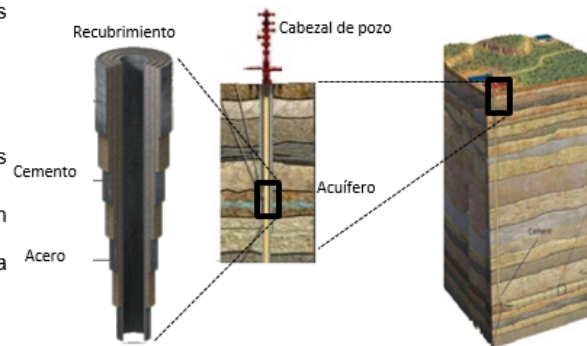
El diseño y construcción apropiada de pozos permite:

- Asegurar su integridad mecánica
- Producir gas y petróleo con seguridad ambiental.

Un pozo de gas típico se construye con 1,400 kg de capas redundantes de acero y cemento, llamadas revestimiento:

- Comúnmente, los acuíferos se aíslan del pozo con varias capas de tubos de acero y cemento.
- Forman las barreras a fugas o flujo durante la perforación, fractura o producción.

Integridad mecánica de pozos



Fuente: American Petroleum Institute (2017). *Hydraulic fracturing: Unlocking America's Natural Gas Resources*

El agua producida de pozos fracturados de gas y aceite se confina en recipientes herméticamente cerrados para:

- Reciclarse o tratarse: se prohíbe descargarla a mantos acuíferos, corrientes y cuerpos de agua superficiales.
- Disponerse en pozos: se monitorea la presión en los pozos de disposición y fallas geológicas preexistentes para prevenir sismicidad inducida.

Manejo del agua de la fractura hidráulica

Reciclaje Tratamiento Pozos de disposición



Fuente: ASEA (2017). *Lineamientos de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales*

La Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente incorpora las mejores prácticas internacionales en seguridad industrial y protección al medio ambiente



La Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente establece la regulación para recursos no convencionales que protege el aire, el agua, el suelo y la seguridad de las personas.

Principales aspectos de la regulación.

La regulación se fortaleció con las críticas y observaciones, atendidas con transparencia, de:

Los [lineamientos de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no Convencionales](#):

- Prohíben el venteo y garantiza la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por quema.
- Establecen que las actividades de fractura hidráulica se realicen a distancias seguras de poblados y cuerpos de agua.
- Hacen pública y transparente la lista de aditivos para la fractura hidráulica.
- Prohíben perforar cerca de fallas geológicas y limita la presión en pozos de disposición.
- Establecen medidas de seguridad estrictas para manejar el fluido de retorno y agua producida.



- La sociedad
- La industria
- La academia

La ASEA está preparada para verificar:

- instalaciones y equipos en condiciones seguras,
- prevención de fugas y filtraciones, y
- supervisión de operaciones



- Incluye las recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía.
- Atiende las opiniones del Centro Mario Molina

La regulación incorpora las mejores prácticas de Argentina, Canadá y Estados Unidos:



Fuente: ASEA (2017). *Lineamientos de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales*

La Comisión Nacional de Hidrocarburos garantiza operaciones seguras en pozos e instalaciones en áreas con yacimientos no convencionales



La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) regula y autoriza la perforación de todos los pozos en la industria petrolera nacional.

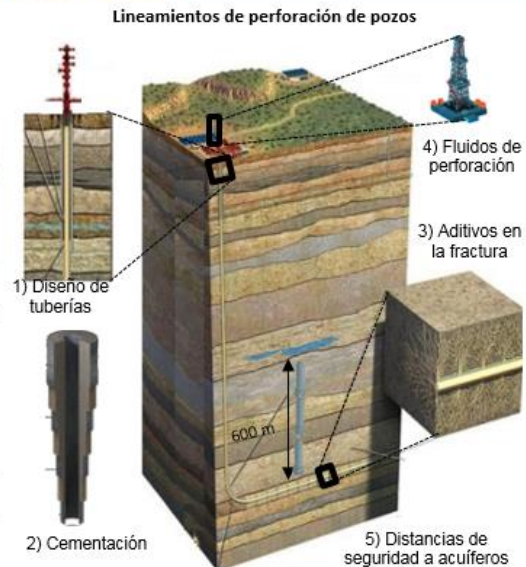
Los [lineamientos de perforación de pozos](#) de la CNH incluyen garantías para la operación segura en todos los pozos de exploración y producción.

LA CNH verifica que las empresas petroleras:

- 1) Garanticen el aislamiento entre el acuífero y el pozo a partir del diseño de tuberías.
- 2) Realicen cementación que evite fuga de fluidos, a través de la selección del tipo y clase de cemento.
- 3) Usen aditivos en tipo y cantidad que representen el mínimo riesgo de posibles efectos adversos.

Respecto a los acuíferos en la perforación y fractura:


- 4) Usen fluidos de perforación químicamente compatibles con el agua al cruzar acuíferos.
- 5) Establezcan distancia de seguridad si encuentran un acuífero profundo cerca de la zona de fractura.



Fuente: Comisión Nacional de Hidrocarburos (2017). *Lineamientos de perforación de pozos*.

Anexo D Estudio de línea base. Formato presentación.

El Anexo presenta una propuesta de estudio de línea base en formato de presentación de manera no exhaustiva y sólo con fines ilustrativos.

<h3>CONTENIDO</h3> <hr/> <p>Objetivo</p> <p>Introducción</p> <ul style="list-style-type: none">• Generalidades <p>Fundamentos</p> <ul style="list-style-type: none">• Marco legal y normativo• Referencias nacionales• Referencias internacionales <p>Conclusión: visión, metas e impulsores</p> <p>Diagnóstico de la situación actual</p> <ul style="list-style-type: none">• Diagnóstico político• Diagnóstico del mercado• Diagnóstico de la tecnología• Diagnóstico de la cadena de valor <p>Conclusión: retos y barreras</p>
 UNIVERSIDAD PANAMERICANA > Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 2

OBJETIVO

Presentar estudio de línea base: reporte para guiar la discusión durante el desarrollo de talleres de **Mapa de Ruta Tecnológica** sobre la **exploración y extracción en yacimientos no convencionales de gas de lutitas** en México.

- ✓ Guiar talleres de manera informada y efectiva
- ✓ Asegurar contar con plataforma de conocimiento común
- ✓ Representar fuente inmediata y confiable de datos
- ✓ Fomentar discusión con calidad en información



Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 3

INTRODUCCIÓN

MRT: herramienta de planeación útil para presentar estrategia de exploración y extracción de yacimientos no convencionales



Estudio de Línea base (ELB)



Talleres colaborativos de MRT



Mapa de Ruta Tecnológica (MRT)

- ✓ ELB: punto de partida para guiar un taller de manera
- ✓ Talleres colaborativos integran la opinión de expertos

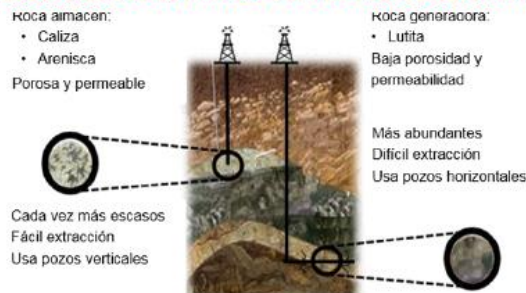


Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 4

INTRODUCCIÓN

Yacimientos no convencionales: petróleo y gas en rocas, cuya porosidad, permeabilidad y otras características difieren de rocas de yacimientos convencionales de arenisca y carbonato.

Comparación de Yacimientos. Convencionales vs. No convencionales



Diferencias	Yacimientos Convencionales	Yacimientos No convencionales
Propósito	Técnica de estimulación o reparación	Técnica de producción probada
Alcance	Tratamientos pequeños en pozos verticales	Tratamientos masivos en pozos horizontales
Particularidad	Menos perforación y más productividad	Perforación intensiva para mantener producción

Fuente: Zendejboudi (2017). [Shale Oil and Gas Handbook](#)



Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 5

FUNDAMENTOS

Marco normativo actual: Reforma Energética 2013



3 cambios constitucionales, 21 leyes secundarias (9 leyes nuevas y 12 leyes reformadas)

Artículo 25	Artículo 27	Artículo 28
Reforma párrafos cuarto, sexto y octavo; adiciona un párrafo séptimo	Reforma párrafo sexto, adiciona un párrafo octavo	Reforma párrafo cuarto y sexto

Legislación mexicana vigente no prohíbe la exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales

México desarrolló un marco regulatorio sobre el tema:

Regulación de SENER, ASEA, CNH y CONAGUA

- Disposiciones en materia de seguridad y protección
- Lineamientos contraprestación a propietarios
- Lineamientos perforación de pozos
- Lineamientos para proteger aguas nacionales



Fuente: CNH (2020). [Regulación y marco jurídico](#)



Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 6

VISIÓN, METAS E IMPULSORES

Visión e impulsores → premisas de política energética actual

VISIÓN

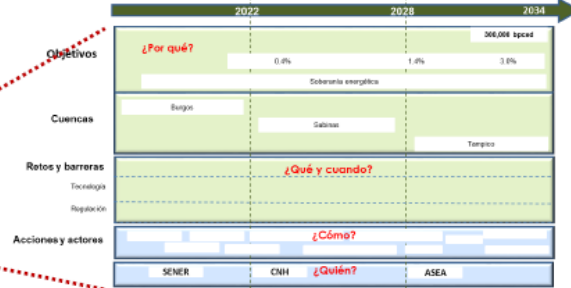
"Rescate del sector energético" (DOF, 2019) mediante la "restitución de reservas de hidrocarburos" (DOF, 2020), reconsiderando la promoción de actividades en aguas profundas y terrestres no convencionales, en tanto se garantice "contar con mejores tecnologías y procesos para el uso del fracturamiento hidráulico masivo, preservando y sin impactar el medio ambiente, con respeto al entorno social" (SENER, 2020).



Fuente: IMP (2017). [Mapas de ruta](#)

METAS: ¿Número de pozos? ¿Cantidad de producción? ¿Fecha?

Exploración y extracción de yacimientos de gas y petróleo de lutitas en México



IMPULSORES

- Aumentar el conocimiento de las áreas terrestres no convencionales
- Incorporar reservas y la producción de hidrocarburos,
- Lograr la autosuficiencia energética sostenible.
- Reforzar la seguridad energética del país
- Garantizar la soberanía y seguridad energéticas

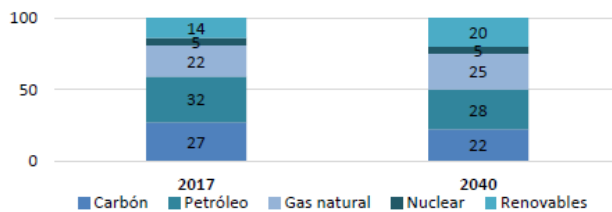


Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 7

DIAGNÓSTICO ACTUAL: POLÍTICA

El petróleo aún será el combustible predominante

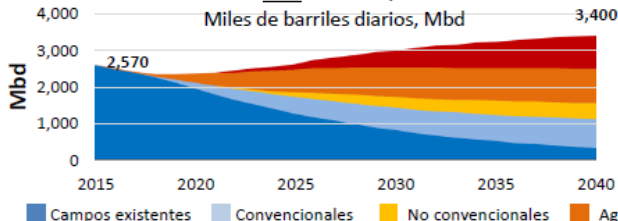
Participación de energía primaria mundial, 2017 y 2040
Millones de toneladas equivalente de petróleo



Fuente: BP (2019). [World Energy Outlook](#)

Yacimientos no convencionales: recursos necesarios

Escenario con reforma, 2015-2040



Fuente: EIA (2016). [Mexico's Energy outlook](#)

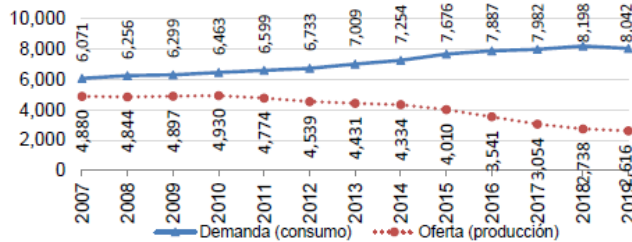


Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 8

DIAGNÓSTICO ACTUAL: MERCADO

La oferta de gas no satisface la demanda → se importa gas

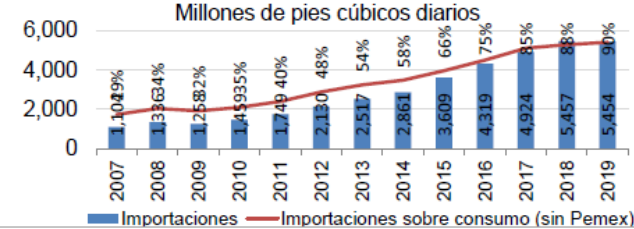
Oferta y demanda de gas natural en México, 2007-2019
Millones de pies cúbicos diarios



- La oferta de gas natural en México ha disminuido 47% desde el 2010 hasta el 2019.
- La demanda ha aumentado 32% del 2007 al 2019.

Fuente: SENER (2020). [Prontuario Estadístico](#)

Importaciones y % respecto al consumo de gas en México



- Las importaciones de gas natural satisfacen la creciente demanda interna.
- En 2019, las importaciones de gas representaron 90% del consumo nacional.
- México importó más del 94% del gas natural de Estados Unidos

Fuente: SENER (2020). [Prontuario Estadístico](#)



Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras 9

DIAGNÓSTICO ACTUAL: TECNOLOGÍA

Progreso en tecnología → producción comercial de gas de lutitas

Consideraciones relacionadas con la fractura hidráulica

Preventoras de contraflujo
Se usan para proteger a aguas subterráneas (subverts).

Embalses revestidos y tanques de almacenamiento
Las compañías los usan como barrera impermeable al suelo.

Tanques: contienen el agua residual y lodos

Reciclaje de agua, reuso y disposición
Los pozos producen agua residual y gas. El agua residual se recolecta en la superficie y se RECICLA o DISPONE de acuerdo con la regulación.

Operadores de Marcellus dieron a la EPA que reciclarían 90% del agua.

Construcción del pozo: Los pozos tienen capas de tuberías de acero cementadas llamadas REVESTIMIENTO (escudo entre la producción de gas y ambiente).
Un pozo de gas se construye con 1,300,000 kg de ACERO y CEMENTO.

Roca impermeable
La fractura ocurre más de 1.5 km debajo de la superficie. La fractura, agua superficial y subterránea están separados por ROCAS IMPERMEABLES.

Fractura hidráulica Libera el gas atrapado en los poros de la roca (20,000 veces más delgados que el cabello humano).

Fluidos de fractura hechos 90% de agua, 9.5% arena y 0.5% químicos comunes.

Los fluidos de fractura y gas NO PUEDEN MIGRAR.

Fuente: API (2017). [Hydraulic fracturing](#)

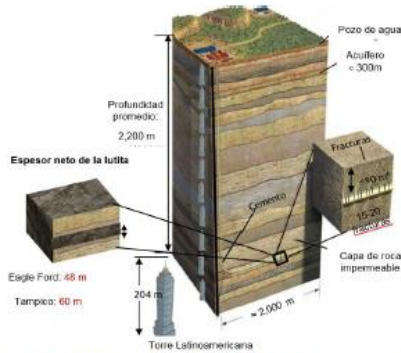


Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras 10

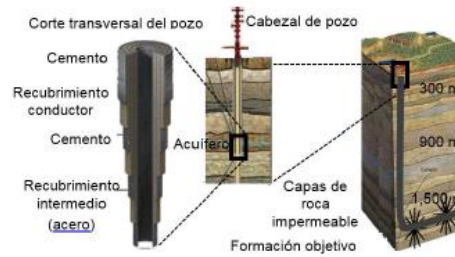
DIAGNÓSTICO ACTUAL: TECNOLOGÍA

Fractura hidráulica → técnica probada y perfeccionada

Distancia a escala de la fractura hidráulica



Integridad mecánica de un pozo



Fuente: API (2017). [Hydraulic fracturing](#)

- La fractura hidráulica ocurre cientos de metros alejada del nivel freático: casi 10 veces la Torre Latinoamericana.
- Los yacimientos no convencionales en México tienen un gran espesor: 48 metros para la formación Eagle Ford de Burgos y 60 metros para la formación Pimienta de Tampico
- El diseño y construcción apropiada de pozos permite asegurar su integridad mecánica y producir gas con seguridad ambiental
- Los acuíferos se aíslan del pozo con varias capas de tubos de acero y cemento los cuales forman las barreras a fugas o flujo

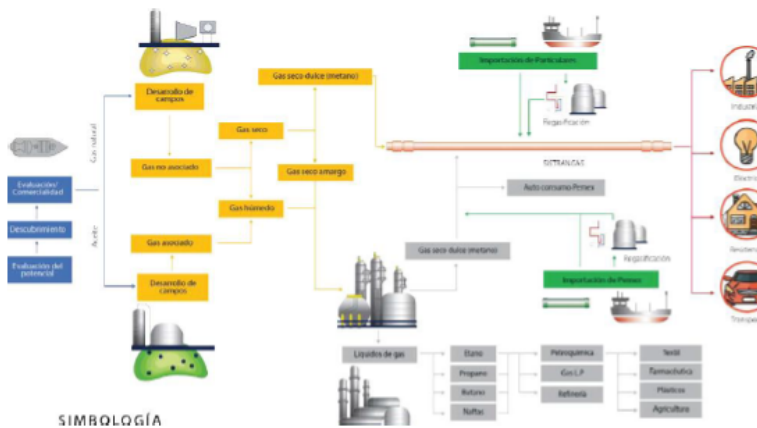


Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 11

DIAGNÓSTICO ACTUAL: CADENA DE VALOR

(1) Exploración, (2) extracción, (3) procesamiento, (4) logística (transporte, almacenamiento, distribución) y (5) comercialización

Cadena de valor del gas natural en México



- La cadena de suministro del gas natural de lutitas incluye pozos, red de colección, pretratamiento, tuberías de transporte de gas, entre otras.
- La infraestructura para el desarrollo del gas natural de lutitas es similar a la de gas convencional. La principal diferencia es el tipo de contaminantes de gas, componentes y agua producida de los pozos.

Fuente: CNH (2018). [El sector de gas natural en México](#)



Objetivo > Introducción > Fundamentos > Visión / Meta > Diagnóstico > Retos / Barreras > 12

RETOS Y BARRERAS

Retos y barreras por temas. Yacimientos no convencionales de gas de lutitas

Tema	Retos
Disponibilidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> Administrar los recursos acuíferos, especialmente en zonas áridas (Rezaee, 2015). Usar sustentablemente los recursos subterráneos para la fractura de la formación (Rezaee, 2015).
Protección del agua	<ul style="list-style-type: none"> Proteger los recursos de agua existentes tanto superficial como subterránea (acuíferos) de contaminación de agua salina, gas o fluidos de fractura durante el proceso de la fractura hidráulica (Rezaee, 2015).
Programas de cementación, perforación y revestimiento	<ul style="list-style-type: none"> Implementar programas de perforación, revestimiento y cementación para aislar zonas con capas de agua de las de gas (Rezaee, 2015). Pruebas para validar el desempeño y diseño del pozo para redundancia (Rezaee, 2015). Prevenir que los lodos de perforación entren a acuíferos superficiales, la corrosión de revestimiento de acero (Rezaee, 2015).
Diseño del tratamiento de fractura	<ul style="list-style-type: none"> Usar técnicas robustas y sofisticadas para producir un tratamiento controlado dentro de una formación objetivo específica; incluyendo la implementación de técnicas microsísmicas de mapeo de fractura durante el tratamiento (Rezaee, 2015).
Proceso de fractura	<ul style="list-style-type: none"> Usar pruebas / certificación de equipo y pozos previo al tratamiento de fractura para asegurar el pozo es correcto para el tratamiento, y la implementación de los tratamientos por etapas para asegurar fracturas controladas de intervalos discretos (Rezaee, 2015).
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> Usar de manera segura los lodos generados (Tuft, 2015).
Manejo de agua	<ul style="list-style-type: none"> Disminuir el riesgo de contaminación de agua subterránea por actividades superficiales (fuga de embalses superficiales, derrames de fluidos de fractura hidráulica o mal manejo de fluidos de perforación) (Tuft, 2015). Usar prácticas administrativas adecuadas de manejo de agua residual (almacenamiento, tratamiento y disposición del agua de retorno y agua producida) (Tuft, 2015).



RETOS Y BARRERAS

Retos y barreras por temas. Yacimientos no convencionales de gas de lutitas

Tema	Retos
Manejo de agua	<ul style="list-style-type: none"> Tratar y disponer responsablemente el agua de la exploración y producción como parte de un plan de administración ambiental; incluyendo (Rezaee, 2015): <ul style="list-style-type: none"> o Inyección en sitio dentro de formaciones permeables y porosas cuando estén disponibles en el sitio o Transporte y disposición en sitios de inyección remota o Tratamiento en sitio o Reuso de fluidos para tratamiento de otros pozos o Suministrar agua a otros usuarios que podrían beneficiarse (por ejemplo, minas cercanas)
Compuestos químicos	<ul style="list-style-type: none"> Brindar certeza y disminuir la confidencialidad en la información de compuestos para fractura hidráulica (Tuft, 2015).
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> Revisar las leyes y regulación de gas y aceite para manejar la fractura hidráulica más integralmente. Implementar mejores prácticas para la construcción e integridad de pozos (Tuft, 2015). Manejar los riesgos ambientales con la estructura regulatoria que asegure controles ambientales adecuados (Rezaee, 2015).
Vigilancia	<ul style="list-style-type: none"> Incrementar el número de inspectores que vigilen las actividades de exploración y extracción (Tuft, 2015).
Económicos / Comerciales	<ul style="list-style-type: none"> Disminuir la incertidumbre alrededor de la viabilidad comercial de gas de lutitas, la rentabilidad en Estados Unidos no es necesariamente comparable con la de otras áreas (Rezaee, 2015).
Otros temas ambientales	<ul style="list-style-type: none"> Administrar materiales radioactivos producidos naturalmente del subsuelo, que podrían estar dentro de los cortes de perforación y disueltos dentro del agua producida y que precipitan con el tiempo (Rezaee, 2015). Uso competitivo del suelo con otros usos, por ejemplo tierra agrícola (Rezaee, 2015).



Anexo E Estudio de línea base. Formato de resumen ejecutivo

El Anexo presenta una propuesta de estudio de línea base en formato de resumen ejecutivo de manera no exhaustiva y sólo con fines ilustrativos.

Resumen ejecutivo

Estudio de línea base: exploración y extracción de yacimientos no convencionales de gas de lutitas en México

Introducción

Los recursos no convencionales se refieren al petróleo y gas contenido en rocas, cuya porosidad, permeabilidad y otras características difieren de rocas de yacimientos convencionales de arenisca y carbonato (Schlumberger, 2020).

El gas de lutitas es un recurso no convencional. En particular, el gas de lutitas (*shale gas*) es gas natural atrapado en rocas llamadas lutitas, caracterizadas por una baja permeabilidad. Por ello, la técnica de fractura hidráulica se usa comúnmente para crear canales y liberar el gas atrapado en la roca (Zendehboudi & Bahadori, 2017).

Marco legal y normativo

El marco normativo actual surgió con la Reforma Energética ocurrida el 20 de diciembre de 2013 con la publicación del Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de energía (DOF, 2013a).

México tiene legislación en materia de exploración y extracción de hidrocarburos compuesta por preceptos constitucionales, leyes y reglamentos; así como normativa de menor jerarquía funcional con contenido más operativo y específico como códigos, lineamientos, manuales, acuerdos y otras disposiciones (CNH, 2020).

México tiene regulación específica en materia de yacimientos no convencionales publicada por la ASEA; la CNH; la CONAGUA y SENER. En sí, la legislación mexicana vigente no prohíbe la exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales. Por lo que según el principio de permisión: *“lo no prohibido está permitido”*.

La legislación mexicana omite objetivos susceptibles a considerarse en el mapa de ruta tecnológica relacionados con la exploración y extracción de hidrocarburos en cualquier tipo de yacimientos. Lo anterior es natural porque los objetivos y metas se reflejan comúnmente en los planes y programas que establece cada administración.

Los documentos gubernamentales de la administración 2019-2024 como el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (DOF, 2019b) y el Programa Sectorial de Energía

2020-2024 (DOF, 2020) sientan las bases para establecer y justificar una visión e impulsores particulares para el mapa de ruta del tema propuesto.

Aunque el programa sectorial establece metas y parámetros para sus objetivos prioritarios, éstos no refieren directamente objetivos o metas particulares relacionados con la producción de gas y petróleo, aún menos en yacimientos no convencionales. Por ello, los datos de referencia nacional e internacional podrían permitir establecer una meta respecto al tema del mapa de ruta tecnológica.

Diagnóstico político

La política energética del presente gobierno mexicano (2018-2024) en el tema de exploración y producción de hidrocarburos orienta sus esfuerzos al rescate de Petróleos Mexicanos, bajo la premisa de que la Reforma Energética del sexenio anterior le causó un daño gravísimo (DOF, 2019a). Asimismo, presenta reservas hacia las actividades en yacimientos no convencionales

Aunque la legislación actual permite las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos mediante contratos con particulares, los procesos de licitación para la adjudicación de contratos están detenidos desde el 7 de diciembre de 2018 cuando la SENER solicitó a la CNH la cancelación de las licitaciones CNH-R03-L02/2018 y CNH-R03-L03/2018 (CNH, 2018c).

El Plan Quinquenal es el documento indicativo en el que se establecen las áreas contractuales que se propone licitar durante un período de cinco años (DOF, 2014g). Aunque el Plan Quinquenal 2020-2024 reconoce el potencial de recursos no convencionales en México, éste excluye áreas terrestres no convencionales (SENER, 2020b).

De hecho, el Plan Quinquenal 2019-2024 es el único documento de la presente administración con una postura explícita sobre los recursos no convencionales: *“con la política energética actual se prescinde totalmente de la extracción de estos recursos no convencionales en lutitas, que involucren el uso del fracturamiento hidráulico masivo o fracking, en tanto se garantiza contar con mejores tecnologías y procesos para esta técnica, preservando y sin impactar el medio ambiente, con respeto al entorno social y que los precios de los hidrocarburos sean suficientemente altos para que sean económicamente rentables los proyectos”* (SENER, 2020b).

La política energética mundial hacia las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales varía entre los países según su disponibilidad potencial, accesibilidad y distribución de recursos.

La transición energética, el Acuerdo de París influyen en la postura sobre el tema. Aunque existen países con moratorias y prohibiciones de fractura hidráulica, el gas

natural de lutitas ofrece la posibilidad a países importadores de recursos energéticos extraer su propio gas y reducir o eliminar la dependencia al exterior.

La autosuficiencia energética es parte de la política de los países productores o en vías de producción, como el caso de EE.UU y Argentina. Los países que persiguen la seguridad energética también consideran los costos y riesgos asociados con el gas no convencional de lutitas. Las políticas de varios países se orientan a los riesgos ambientales asociados con el gas no convencional.

Diagnóstico del mercado

El mercado global de gas natural ha experimentado cambios en las últimas décadas. En gran parte del mundo transitó de ser un mercado de servicio público de monopolio natural y contractual de largo plazo a un mercado competitivo de materia prima de energía a corto plazo (Long, Moore, & Wenban-Smith, 2003).

El mercado de gas natural es más competitivo y dinámico, y así seguirá conforme la participación del gas natural en la mezcla energética mundial continúe creciendo impulsado por su uso creciente en todos los sectores (Mokhatab & Poe, 2012)

La producción abundante de gas de lutitas en EE.UU. ha disminuido los precios en EE.UU. y transformado el mercado global (Mokhatab & Poe, 2012). En general, la producción de gas natural de lutitas depende principalmente de dos factores económicos: precio actual del mercado y precio de equilibrio del gas.

La Reforma Energética en México entre 2013-2018 comprendió tres líneas estratégicas: *“(1) continuar la expansión de la infraestructura de transporte y almacenamiento de gas natural; (2) reestructurar la organización industrial para promover el desarrollo de un mercado abierto, eficiente y competitivo; y (3) diseñar e implementar políticas que fortalezcan la seguridad energética”* (SENER, 2019). No obstante, la presente administración impulsa una situación anterior a la reforma, caracterizada por un sistema de gasoductos operado por PEMEX y precios regulados por la CRE.

La oferta de gas natural en México ha disminuido 47% desde el 2010 hasta el 2019; mientras que la demanda ha aumentado 32% del 2007 al 2019. Las importaciones de gas natural satisfacen la creciente demanda interna. En 2019, las importaciones de gas natural representaron 90% del consumo nacional. México importó más del 94% del gas natural de Estados Unidos (SENER, 2020c).

México importa más gas natural que el que produce debido a la demanda creciente para los diferentes usos, siendo uno de los principales la generación de electricidad. El 54% de la generación de electricidad en México usa gas natural (SENER, 2019).

El gas natural es el combustible fósil más económico en comparación con otros que se usan en la industria y generación eléctrica. En agosto de 2020, los precios VPM y Henry Hub fueron de 2.27 y 2.29 dólares por millón de BTU, respectivamente. En general, los precios del gas natural en México reflejan los cambios en el mercado de Estados Unidos debido a la fuerte dependencia de las importaciones.

La disponibilidad de gas natural en las distintas regiones del mundo también provoca una diferencia drástica en precios. En noviembre de 2020, el precio de gas natural licuado en el mundo varió desde 2.37 hasta 7.15 dólares por millón de BTU en Estados Unidos y China, respectivamente.

Diagnóstico de la tecnología

La producción comercial de gas y petróleo de lutitas ha sido posible por el progreso en la tecnología, incluyendo la perforación horizontal, fractura hidráulica, fluidos de perforación, entre otras (Soeder, 2018).

La exploración y producción del gas de lutitas consta de las siguientes etapas: (1) reconocimiento de los recursos; (2) evaluación inicial de la perforación; (3) proyecto piloto de perforación; (4) pruebas de producción piloto; y (5) desarrollo comercial (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

Las tecnologías principales que se usan en la exploración, perforación y producción de gas de lutitas son: (1) estudios sísmicos y registros geofísicos; (2) perforación direccional para pozos horizontales y (3) fractura hidráulica, respectivamente. La tecnología permite desarrollar y mejorar la sustentabilidad del aprovechamiento de los recursos no convencionales (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

La fractura hidráulica requiere supervisión y vigilancia, pero la integridad mecánica de los pozos es fundamental para cuidar al ambiente. El diseño y construcción apropiada de pozos permite asegurar su integridad mecánica y producir gas y petróleo con seguridad ambiental (API, 2017).

Un pozo de gas típico se construye con capas redundantes de acero y cemento, llamadas revestimiento. Comúnmente, los acuíferos se aíslan del pozo con varias capas de tubos de acero y cemento los cuales forman las barreras a fugas o flujo durante la perforación, fractura o producción (API, 2017; King, 2012).

La fractura hidráulica es una técnica que consiste en inyectar a presión agua, arena y un poco de aditivos para crear canales en la roca y liberar el gas y petróleo atrapado. La técnica inició en los años 50's, se ha probado y perfeccionado con más de un millón de pozos perforados en los últimos 60 años. Los avances han permitido producir más gas natural y reducir el impacto al medio ambiente (API, 2017).

El fluido de fractura se compone 90% de agua, 9.5% de arena y 0.5% de compuestos químicos comunes (la concentración y cantidad varía, pero es menor a 0.5%). En sí, el fluido produce la fractura y la arena la mantiene abierta (API, 2017).

El agua producida de pozos fracturados de gas y aceite a menudo se considera un residuo que se debe manejar adecuadamente. Por lo que se confina en recipientes herméticamente cerrados para: (a) inyectarse en pozos clase II, (b) reusarse en operaciones de fractura, (c) tratarse o (d) disponerse en fosas (EPA, 2016).

Diagnóstico de la tecnología

La CNH presenta una cadena de valor del gas natural en México con cinco etapas: (1) exploración, (2) extracción, (3) procesamiento, (4) logística (transporte, almacenamiento y distribución); así como (5) comercialización (CNH, 2018f).

La infraestructura requerida para el desarrollo del gas natural de lutitas es similar a la de gas convencional. La principal diferencia es el tipo de contaminantes de gas, componentes y agua producida de los pozos (Zendehboudi & Bahadori, 2018).

Las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos que incluye al gas natural se realizan en México mediante asignaciones a empresas productivas del Estado o contratos con éstas o con particulares (DOF, 2016b).

La CNH registra 111 contratos vigentes al 11 de agosto de 2019, de los cuales 76 son del tipo licencia y 35 producción compartida. Pemex Exploración y Producción participa en 22 de los 111 contratos: 3 contratos de asociaciones estratégicas denominadas *Farm-outs*, 5 contratos de migraciones y 14 contratos de rondas de licitación, de los cuales 3 son de manera individual (DOF, 2016b).

La participación exclusiva de particulares ocurre en 90 contratos, de los cuales 59 están en etapa de exploración con áreas contractuales ubicadas en aguas profundas, aguas someras y áreas terrestres. Sólo 1 contrato está en etapa de exploración y evaluación en aguas someras. Dentro de los 90 contratos en los que participan exclusivamente particulares, 7 están en etapa de evaluación y 22 en etapa de desarrollo (CNIH, 2020b)

El procesamiento de gas natural requiere de un permiso otorgado por la SENER. Pemex Transformación Industrial es la empresa productiva subsidiaria con 9 permisos para el procesamiento de gas natural. Dichos permisos amparan la operación en 9 centros procesadores de gas (CPG).

La logística comprende tres actividades que define la Ley de Hidrocarburos: (1) transporte, (2) almacenamiento y (3) distribución del gas natural (DOF, 2016b). La red de transporte por ducto de gas natural incluye al SISTRANGAS y se complementa con gasoductos privados no integrados para efectos tarifarios. México

tiene tres terminales de almacenamiento y regasificación para gas natural licuado. Antes la distribución de gas natural requería un permiso con exclusividad geográfica (DIR/GAS/003/96); pero en 2018 la CRE determinó a todo el territorio nacional como zona geográfica única para fines de distribución de gas (Acuerdo Núm. A/070/2017).

La Unidad de Gas Natural de la CRE realiza la “Expedición del título de permiso de comercialización de gas natural”. La CRE registra 59 permisos para la prestación del servicio de comercialización a usuarios finales que incluyen a la industria eléctrica, manufacturera, comercios, hogares y transporte.

Conclusión: retos y barreras

Los retos y barreras en la exploración y extracción de gas de lutitas se pueden listar y agrupar en sus etapas (1) evaluación de la formación, (2) perforación y (3) fractura hidráulica (Rivard, y otros, 2014).

La exploración y extracción de gas de lutitas se asocia con impactos económicos como la creación de empleos y pago de rentas y regalías. No obstante, los impactos ambientales son el aspecto más controversial en la industria del gas de lutitas.

Los retos agrupados por temas incluyen (1) la disponibilidad de agua; (2) la protección del agua; (3) programas de cementación, perforación y revestimiento; (4) el diseño del tratamiento de fractura; (5) el proceso de fractura; (6) los residuos; (7) el manejo de agua; (8) las fuentes de contaminación; (9) los compuestos químicos; (10) la regulación; (11) vigilancia; (12) aspectos económicos / comerciales; y otros temas ambientales como la radioactividad, calidad del aire, sismicidad inducida y emisiones (Tuft, 2015) y (Rezaee, 2015).

Al respecto, organizaciones de alto nivel han desarrollado estándares o mejores prácticas administrativas para el desarrollo de gas y aceite de lutitas y su regulación (University of Pittsburgh, 2013), los cuales pueden servir de referencia para manejar los retos y barreras.

Diversas fuentes proporcionan una revisión detallada del desarrollo del gas de lutitas en Estados Unidos y Europa, incluyendo aspectos políticos y ecológicos en Alemania, Polonia, Hungría, Rumania, Bulgaria, Moldova, Ucrania, Rusia, Kazakistán y China (Zhiltsov, 2017), (Wang & Hefley, 2016).

La evaluación tecnológica de las prácticas de administración y abastecimiento de agua existentes y emergentes en regiones productoras de gas de lutitas en los Estados Unidos provee hallazgos relevantes que ponen en perspectiva y permiten dimensionar los retos y barreras. Particularmente en temas relacionados con (1) la regulación de la inyección subterránea; (2) la contaminación de agua subterránea por perforación de pozos; (3) la contaminación de agua subterránea por fractura hidráulica y (4) la sismicidad inducida (Tuft, 2015).

La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) publicó un reporte exhaustivo del sector del gas natural. Dentro de éste describe propuestas para el desarrollo de la industria nacional relacionados con la oferta (*upstream, midstream y downstream*), demanda y transversales; clasificadas en el corto y mediano (CNH, 2018f).

Las propuestas podrían considerarse como soluciones a retos y barreras en México y como señala la CNH, “*podrán servir a la SENER como base para la formulación de políticas públicas para el sector de gas natural*” (CNH, 2018f)

Referencias

- Abe, H. (2013). The Innovation Support Technology (IST) Approach: Integrating Business Modeling and Roadmapping Methods. En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation* (págs. 173-188). Berlin: Springer.
- AIDA. (2019). *Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente*. Recuperado el 06 de 2021, de Prohibiciones y moratorias al fracking: legislación comparada: https://aida-americas.org/sites/default/files/publication/AIDA%20Informe_%20Prohibiciones%20y%20moratorias%20al%20fracking.pdf
- AIPM. (2020). *Asociación de Ingenieros Petroleros de México*. Obtenido de <https://www.aipmac.org.mx/>
- Albright, R. E., & Kappel, T. A. (2003). Roadmapping in the corporation. *Res. Technol. Manag.*, 42(2), 31–40.
- AMDEE. (2018). *Asociación Mexicana de Energía Eólica* . Obtenido de <https://amdee.org/quienes-somos.html>
- AME. (2020). *Asociación Mexicana de Energía* . Obtenido de <https://asociacionmexicanadeenergia.com.mx/>
- Amer, M., & Daim, T. D. (2010). Application of technology roadmaps for renewable energy sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1355-1370.
- AMEXHI. (2020). *Asociación Mexicana de Empresas de Hidrocarburos*. Obtenido de Red Mexicana de Bioenergía
- Anurodh, M. D., & Devleena, M. (2017). *Shale Gas: Exploration and Environmental and Economic Impacts*. New York: Elsevier.
- API. (01 de 2017). *American Petroleum Institute*. Recuperado el 12 de 2020, de Hydraulic Fracturing. Unlocking America's Natural gas resources: www.api.org/~media/Files/Oil-and-Natural-Gas/Hydraulic-Fracturing-primer/Hydraulic-Fracturing-Primer.pdf
- API. (01 de 2020). *American Petroleum Institute*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://www.api.org/oil-and-natural-gas/wells-to-consumer/exploration-and-production/hydraulic-fracturing>

- Appalachian Shale Responsible Producers Group. (04 de 2012). *Appalachian Shale Recommended Practices Group: Recommended Standards and Practices*. Obtenido de https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2012/05/44703_ASRPGStandardsandPracticesDocumentApril302012.pdf
- ASOLMEX. (2018). *Asociación Mexicana de Energía Solar*. Obtenido de <https://www.asolmex.org/es/>
- BBC News. (01 de 2012). *Bulgaria bans shale gas drilling with 'fracking' method*. Recuperado el 12 de 2020, de <http://www.bbc.com/news/world-europe-16626580>
- BloombergNEF / International Gas Union / Snam. (08 de 2020). *Global Gas Report 2020*. Recuperado el 12 de 2020, de https://www.igu.org/app/uploads-wp/2020/08/GGR_2020.pdf
- BMWi. (03 de 2015). *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy*. Recuperado el 02 de 2021, de Instruments used to secure gas supply: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Energy/gas-instruments-used-to-secure-gas-supply.html#:~:text=Germany%20has%20the%20largest%20natural,for%2080%20days%20on%20average.>
- BP. (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019*. Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- BP. (2020). *British Petroleum*. Recuperado el 12 de 2020, de Statistical Review of World Energy 2020: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- BP. (2020). *British Petroleum Energy Outlook*. Obtenido de <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics.html>
- Bray, O. H., & Garcia, M. L. (1997). Technology roadmapping: the integration of strategic and technology planning for competitiveness. *Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*. Portland: PICMET.
- Carvalho, M. M., Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on technology roadmapping: contributions and trends. *Technol. Forecast Soc. Change*, 80(7), 1418-1437.

- CENAGAS. (11 de 2016). *CENAGAS y SISTRANGAS*. Recuperado el 02 de 2021, de <https://www.gob.mx/cenagas/acciones-y-programas/cenagas-y-sistrangas-83500#:~:text=El%20SISTRANGAS%20se%20compone%20por,perif%C3%A9ricos%2C%20lo%20que%20otorga%20diversos>
- CENAGAS. (08 de 2018). *Centro Nacional de Control del Gas Natural*. Recuperado el 02 de 2020, de Bases de licitación para la adjudicación del contrato para la prestación del servicio de recepción, almacenamiento y entrega de gas natural:
http://transparencia.cenagas.gob.mx/licitacion_ugtp/Bases%20de%20Licitacion%20Almacenamiento%20Gas%20natural%20Con%20Cambios%2027082018-scc_v2.docx.
- CNH. (2013). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Recuperado el 2019, de Reporte de actividad exploratoria:
http://www.cnh.gob.mx/_docs/Reportes_IH/Reporte_de_Actividad_Exploratoria_Abr_2013.pdf
- CNH. (02 de 03 de 2018a). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de Comunicado de Prensa 007 Emitido por SENER, SHCP, CONAGUA, ASEA, el Gobierno del Estado de Tamaulipas y CNH:
<https://www.gob.mx/cnh/prensa/comunicado-de-prensa-007-emitido-por-sener-shcp-conagua-asea-y-gobierno-del-estado-de-tamaulipas?idiom=es>
- CNH. (11 de 12 de 2018b). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de Resolución CNH.E.70.004/18. La CNH resuelve la cancelación de la Licitación CNH-R03-L03/2018 para la adjudicación de contratos de licencia para la exploración y extracción de hidrocarburos en áreas terrestres convencionales y no convencionales.:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/422322/Resoluci_n_CNH.E70.004-18.pdf
- CNH. (12 de 2018c). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Recuperado el 12 de 2020, de Comunicado de Prensa 040 emitido por la CNH:
<https://www.gob.mx/cnh/prensa/comunicado-de-prensa-040-emitido-por-la-cnh>
- CNH. (2018d). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de Ronda 3. Terrestres convencionales y no convencionales. Rondas México:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/422322/Resoluci_n_CNH.E70.004-18.pdf

- CNH. (2018e). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de Bases de Licitación. Rondas México: <https://rondasmexico.gob.mx/media/3935/02-mar-18.pdf>
- CNH. (09 de 2018f). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Recuperado el 12 de 2020, de El sector del gas natural en México: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/391881/Documento_Tecnico_GasNatural_CNH2018__1_.pdf
- CNH. (09 de 2020). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de Marco Jurídico: <https://cnh.gob.mx/regulacion/marco/>
- CNH. (s/f). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Recuperado el 11 de 2020, de Atlas geológico recursos no convencionales (lutita gas / aceite): https://hidrocarburos.gob.mx/media/3095/atlas_geologico_no_convencional_es_v3.pdf
- CNH. (s/f). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Recuperado el 12 de 2020, de Prospectiva de la producción nacional de gas natural: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/488400/Prospectiva_Produccion_Nacional_Gas_Natural__2_.pdf
- CNIH. (2020a). *Centro Nacional de Información de Hidrocarburos*. Obtenido de Sistema de Información de Hidrocarburos: <https://sih.hidrocarburos.gob.mx/>
- CNIH. (2020b). *Centro Nacional de Información de Hidrocarburos*. Obtenido de Tablero de producción de petróleo y gas: <https://produccion.hidrocarburos.gob.mx/#>
- CONUEE. (04 de 2018). *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía*. Obtenido de Sistema de Información de Transición Energética : Sistema de Información de Transición Energética
- CONUEE. (2020). *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía*. Obtenido de Base de Indicadores de Eficiencia Energética: <https://www.biee-conuee.net/>
- CRE. (12 de 2017). *Comisión Reguladora de Energía*. Recuperado el 02 de 2021, de La CRE aprobó la determinación de la Zona Geográfica Única para la distribución de Gas Natural: <https://www.gob.mx/cre/prensa/la-cre-aprobo-la-determinacion-de-la-zona-geografica-unica-para-la-distribucion-de-gas-natural?idiom=es>
- CRE. (12 de 2020). *Comisión Reguladora de Energía*. Recuperado el 12 de 2020, de Índices de Referencia de Precios de Gas Natural: <https://www.cre.gob.mx/IPGN/>

- CSSD. (2020). *Center for Sustainable Shale Development*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://www.sustainableshale.org/performance-standards/>
- de Alcantara, D. P., & Martens, M. L. (2019). Technology roadmapping: a systematic review of the literature focusing on models. *Technological Forecasting and Social Change*, 138, 127–138.
- de la Vega Navarro, A., & Ramírez Villegas, J. (2015). El Gas de Lutitas (Shale Gas) en México: Recursos, explotación, usos, impactos. *Economía UNAM*, 12(34), 79-105. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sc>
- Department of Health. (12 de 2014). *A Public Health Review of High Volume Hydraulic Fracturing for Shale Gas Development*. Recuperado el 12 de 2020, de https://www.health.ny.gov/press/reports/docs/high_volume_hydraulic_fracturing.pdf
- DOF. (027 de 1917). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 02 de 2020, de Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_080520.pdf
- DOF. (08 de 1932). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley General de Títulos y Operaciones de Crédito: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/145_220618.pdf
- DOF. (12 de 1976). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley Orgánica de la Administración Pública Federal: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/153_220120.pdf
- DOF. (01 de 1983). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de Planeación: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/59_160218.pdf
- DOF. (07 de 1992). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley Federal sobre Metrología y Normalización: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/107522/LEYFEDERALSO BREMETROLOGIAYNORMALIZACION.pdf>
- DOF. (08 de 1994). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley Federal del Procedimiento Administrativo: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/112_180518.pdf
- DOF. (05 de 2004). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley General de Bienes Nacionales: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/267_211020.pdf

- DOF. (06 de 2006a). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de Navegación y Comercio Marítimos:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LNCM_191216.pdf
- DOF. (03 de 2006b). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPRH_191119.pdf
- DOF. (12 de 2008). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley General de Contabilidad Gubernamental:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCG_300118.pdf
- DOF. (04 de 09 de 2009). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Reglamento de la Ley de Petróleos Mexicanos.:
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5108209&fecha=04/09/2009
- DOF. (12 de 2013a). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 07 de 2019, de Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de energía:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5327463&fecha=20/12/2013
- DOF. (04 de 2013b). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de Amparo: Diario Oficial de la Federación
- DOF. (08 de 2014a). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIH_170120.pdf
- DOF. (08 de 2014b). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de Petróleos Mexicanos:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPM_110814.pdf
- DOF. (08 de 2014c). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley del Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética: Ley del Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética
- DOF. (08 de 2014d). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFMPED_110814.pdf
- DOF. (08 de 2014e). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al

Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LANSI_110814.pdf

DOF. (05 de 2014f). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley Federal de Competencia Económica:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFCE_270117.pdf

DOF. (11 de 2014g). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Reglamento de la Ley de Hidrocarburos:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LHidro.pdf

DOF. (31 de 10 de 2014h). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Reglamento de la Ley de Hidrocarburos:

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5366671&fecha=31/10/2014

DOF. (31 de 10 de 2014i). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de REGLAMENTO de las actividades a que se refiere el Título Tercero de la Ley de Hidrocarburos.:

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5366672&fecha=31/10/2014

DOF. (05 de 2015a). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGTAIP_130820.pdf

DOF. (12 de 2015b). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de Tesorería de la Federación:

<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTF.pdf>

DOF. (2016a). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Lineamientos de Perforación de Pozos:

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5456836&fecha=14/10/2016

DOF. (08 de 2016b). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 02 de 2019, de Ley de Hidrocarburos:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LHidro_151116.pdf

DOF. (07 de 2016c). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley General de Responsabilidades Administrativas: Diario Oficial de la Federación

DOF. (05 de 2016d). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTAIP_270117.pdf

DOF. (01 de 2017). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPDPPSO.pdf>

- DOF. (2017a). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de DISPOSICIONES administrativas de carácter general que establecen los Lineamientos en materia de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para realizar las actividades de Exploración y Extracción de Hidrocarburos en Yacimien:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5476643&fecha=16/03/2017
- DOF. (2017b). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Lineamientos para la protección y conservación de las aguas nacionales en actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales.:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5495543&fecha=30/08/2017
- DOF. (2018a). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Lineamientos que establecen parámetros para determinar la contraprestación por extracción comercial que el asignatario o contratista entregará a los propietarios cuando sus proyectos alcancen la extracción comercial de hidrocarburos.:
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5516472&fecha=16/03/2018
- DOF. (06 de 2018b). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley General de Archivos:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGA_150618.pdf
- DOF. (12 de 2018c). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 02 de 2021, de ACUERDO por el que la Comisión Reguladora de Energía determina a todo el territorio nacional como zona geográfica única para fines de distribución de gas natural.:
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5511261&fecha=24/01/2018
- DOF. (11 de 2019a). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2020: Diario Oficial de la Federación
- DOF. (07 de 2019b). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de PLAN Nacional de Desarrollo 2019-2024.:
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019
- DOF. (07 de 2020). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 11 de 2020, de Programa Sectorial derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024:

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020

- Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Review (AMA FORUM)*, 35-36.
- Easterby Smith, M., Thorpe, R., & Jackson, P. R. (2015). *Management and Business Research* (5th ed.). London: Sage Publications Ltd.
- EDF. (01 de 2020). *Methane research series: 16 studies*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://www.edf.org/climate/methane-research-series-16-studies>
- EIA. (2013). *Energy Information Administration*. Obtenido de Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States: https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/archive/2013/pdf/fullreport_2013.pdf
- EIA. (08 de 2018). *Energy Information Administration*. Recuperado el 11 de 2020, de Shale gas production drives world natural gas production growth: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27512>
- EIA. (12 de 2019). *Energy Information Administration*. Recuperado el 12 de 2020, de Shale gas production: https://www.eia.gov/dnav/ng/ng_prod_shalegas_s1_a.htm
- EIA. (2020a). *Energy Information Administration*. Obtenido de <https://www.eia.gov/about/>
- EIA. (12 de 2020b). *Energy Information Administration*. Recuperado el 12 de 2020, de Natural Gas: <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdm.htm>
- EIA. (12 de 2020c). *Energy Information Administration*. Recuperado el 12 de 2020, de Gross Withdrawals and production: https://www.eia.gov/dnav/ng/ng_prod_sum_a_EPG0_FGW_mmcf_m.htm
- EIRMA. (1997). *Technology roadmapping—delivering business vision: Working group report*. Paris,: European Industrial Research Management Association.
- Enerdynamics. (s/f). *Are Natural Gas Prices Below \$3 Sustainable?* Recuperado el 12 de 2020, de https://www.enerdynamics.com/Energy-Insider_Blog/Are-Natural-Gas-Prices-Below-3-Sustainable.aspx
- EPA. (12 de 2016). *Environmental Protection Agency*. Recuperado el 12 de 2020, de Hydraulic fracturing for oil and gas: impacts from the hydraulic fracturing water cycle on drinking water in the United States.:

https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/hfdwa_executive_summary.pdf

Flores-Quiroga, A. (2018). *Reforma Energética Hidrocarburos*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

FNQLSDI. (03 de 2014). *First Nations of Quebec and Labrados Sustainable Development Institute*. Obtenido de Exploration and development of shale gas and oil: https://fnqlsdi.ca/wp-content/uploads/2016/02/Shale_Oil_Gas_InformationSheet.pdf

García, M. L., & Bray, O. H. (1997). *Fundamentals of technology roadmapping*. Albuquerque: Strategic Business Development Department, Sandia National Laboratories,.

Gerdri, N., & Vatananan, R. S. (2007). Dynamics of Technology Roadmapping (TRM) implementation Technology (PICMET). *PICMET '07 - 2007 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology* (págs. 1577-1583). Portland, Oregon, USA: IEEE.

Gerdri, N., Kongthon, A., & Vatananan, R. S. (2013). Mapping the knowledge evolution and professional network in the field of technology roadmapping: a bibliometric analysis. *Technol. Anal. Strat. Manage*, 25(4), 403-422.

Gerdri, N., Vatananan, R. S., & Sasawat, D. (2009). Dealing with the dynamics of technology roadmapping implementation: A case study. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(1), 50-60.

Geschka, H., & Hahnenwald, H. (2013). Scenario-Based Exploratory Technology Roadmaps - A Method for the Exploration of Technical Trends. En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation*. Berlin: Springer.

Government of South Australia. (2012). *Energy Mining*. Obtenido de Roadmap for unconventional gas projects in South Australia: http://www.energymining.sa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0019/238033/Roadmap_Unconventional_Gas_Projects_SA_12-12-12_web.pdf

Government of the Netherlands. (07 de 2015). *No extraction of shale gas during the next five years*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://www.government.nl/latest/news/2015/07/10/no-extraction-of-shale-gas-during-the-next-five-years>

Groenveld, P. (1997). Roadmapping integrates business and technology. *Res. Technol. Manag.*, 40(5), 48–55.

- IEA. (2010). *International Energy Agency*. Recuperado el 08 de 2020, de <http://www.acqnotes.com/Attachments/Energy%20Technology%20Roadmap%20Guide.pdf>
- IEA. (06 de 2012). *Technology Platform Training Workshop: IEA Technology Roadmap methodologies*. Recuperado el 2020 de 05, de International Energy Agency: https://iea.blob.core.windows.net/assets/imports/events/307/120621E_RussiaTraining_CT.pdf
- IEA. (2014). *International Energy Agency*. Obtenido de Technology Roadmap - A Guide to Development and Implementation: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-a-guide-to-development-and-implementation>
- IEA. (2016). *Mexico Energy Outlook*. México: International Energy Agency.
- IEA. (08 de 2019). *International Energy Agency*. Recuperado el 12 de 2020, de Electricity generation by fuel: https://www.eia.gov/naturalgas/weekly/archivenew_ngwu/2019/08_15/
- IEA. (2019). *Shares of global primary energy by scenario, 2017 and 2040*. Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/shares-of-global-primary-energy-by-scenario-2017-and-2040>
- IEA. (2020). *International Energy Agency*. Obtenido de <https://www.iea.org/>
- IEHN. (01 de 2020). *Investor Environmental Health Network*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://iehn.org/>
- IfM. (2016). *Roadmap templates*. Recuperado el 05 de 2020, de Institute for Manufacturing: <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/ifmecs/business-tools/roadmapping/roadmap-templates/>
- IGA. (2020). *International Geothermal Association*. Obtenido de <https://www.geothermal-energy.org/>
- IMCO. (04 de 2016). *México ratifica el acuerdo de París sobre el cambio climático*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://imco.org.mx/mexico-ratifica-el-acuerdo-de-paris-sobre-el-cambio-climatico/>
- IMIQ. (2020). *Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos*. Obtenido de <http://portal.imiq.com.mx/>
- IMP. (2012). *Instituto Mexicano del Petróleo*. Obtenido de El IMP desarrollará mapas tecnológicos para las subsidiarias de Pemex:

<https://www.gob.mx/imp/articulos/el-imp-desarrollara-mapas-tecnologicos-para-las-subsidiarias-de-pemex>

INEEL. (2018). *Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias*. Obtenido de Mapa SIGER: <https://www.ineel.mx/mapa-siger.html>

Intermountain Oil and Gas BMP Project. (01 de 2020). *Intermountain Oil and Gas BMP Project*. Recuperado el 12 de 2020, de <http://www.oilandgasbmps.org/>

IRENA. (2020). *International Renewable Energy Agency*. Obtenido de <https://www.irena.org/>

ISES. (2020). *International Solar Energy Society*. Obtenido de <https://www.ises.org/home>

Kanama, D. (2013). Development of Technology Foresight: Integration of Technology Roadmapping and the Delphi Method. En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation* (págs. 151-171). Berlin: Springer.

Kerr, C. I., Phaal, R., & Probert, D. R. (2013). Roadmapping as a Responsive Mode to Government Policy: A Goal-Orientated Approach to Realising a Vision . En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation* (págs. 67-90). Berlin: Springer.

Kerr, C., & Phaal, R. (2020). Technology roadmapping: Industrial roots, forgotten history and unknown origins. *Technological Forecasting and Social Change*, 155, 1-16.

King, G. E. (2012). Hydraulic fracturing 101: What every representative, environmentalist, regulator, reporter, investor, university researcher, neighbor and engineer should know about estimating frac risk and improving frac performance in unconventional gas and oil wells. *SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference*. The Woodlands, Texas, USA: Society of Petroleum Engineers.

Kostoff, R. N., & Schaller, R. R. (2001). Science and technology roadmaps. *IEEE Trans. Eng. Manage.*, 48(2), 132-143.

Lehr, J. H., & Keeley, J. (s.f.). *Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia*.

Long, D., Moore, G., & Wenban-Smith, G. (2003). *Fundamentals of the gas market*. New York: Woodhead Publishing Limited.

Ma, Z. Y. (2016). Chapter 1 - Unconventional Resources from Exploration to Production. En *Unconventional Oil and Gas Resources Handbook* (págs. 3-52). Gulf Professional Publishing.

- Maryland Gov. (03 de 2017). *Gov. Hogan Supports Fracking Ban*. Recuperado el 12 de 2020, de <http://news.maryland.gov/mde/2017/03/21/emde-icymi-gov-hogan-supports-fracking-ban/>
- Melton, M., Hudson, A., & Ladislaw, S. (2015). *Energy 101: Introduction to Natural Gas*. Recuperado el 12 de 2020, de Center for Strategic and International Studies (CSIS): www.jstor.org/stable/resrep23569
- Moehrle, M. G., Isenmann, R., & Phaal, R. (2013). *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation*. Berlin: Springer.
- Mokhatab, S., & Poe, W. A. (2012). *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. New York: Gulf Professional Publishing.
- Montreal Gazette. (15 de 12 de 2014). *Fracking provides few benefits to Quebec, environmental review says*. Obtenido de <https://montrealgazette.com/news/quebec/fracking-provides-few-benefits-to-quebec-environmental-review-says>
- Nimmo, G. (2013). Technology Roadmapping on the Industry Level: Experiences from Canada. En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation*. (págs. 47-66). Berlin: Springer.
- NYT. (17 de 12 de 2014). *The New York Times*. Obtenido de Citing Health Risks, Cuomo Bans Fracking in New York State: <https://www.nytimes.com/2014/12/18/nyregion/cuomo-to-ban-fracking-in-new-york-state-citing-health-risks.html>
- OEE. (2020). *Ocean Energy Europe*. Obtenido de <https://www.oceanenergy-europe.eu/>
- OPEC. (2020). *Organization of Petroleum Exporting Countries*. Obtenido de https://www.opec.org/opec_web/en/publications/202.htm
- Park, H., Phaal, R., Ho, J. Y., & O'Sullivan, E. (2020). Twenty years of technology and strategic roadmapping research: A school of thought perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 154, 1-14.
- Pemex. (2014). *Texas A&M International University*. Obtenido de Presente y Futuro del Proyecto Burgos: <https://www.tamui.edu/binationalcenter/documents/TexasEnergySummitPresenteyFuturodelProyectoBurgosPEMEXBINCLIBRARY.PDF>
- PEMEX. (2019). *Plan de Negocios de Petróleos Mexicanos y sus empresas productivas subsidiarias 2019-2023*. Obtenido de https://www.pemex.com/acerca/plan-de-negocios/Documents/pn_2019-2023_total.pdf

- PEMEX. (12 de 2020). *Gas natural*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://www.pemex.com/comercializacion/productos/Paginas/gas/gas-natural.aspx>
- Pérez Ruiz, J. A. (06 de 2019). *Procesos industriales en los Centros de Procesamiento de Gas*. Recuperado el 02 de 2020, de <https://www.linkedin.com/pulse/procesos-industriales-en-los-centros-de-procesamiento-p%C3%A9rez-ruiz/?originalSubdomain=es>
- Petrick, I. J. (2013). Networked Innovation: Using Roadmapping to Facilitate Coordination, Collaboration and Cooperation . En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation*. (págs. 31-46). Berlin: Springer.
- Phaal, R. (1998-2020). *Cambridge Roadmapping*. Obtenido de Roadmapping: <https://www.cambridgeroadmapping.net/roadmapping>
- Phaal, R., Clare, J. P., & Probert, D. R. (2001). Characterisation of Technology Roadmaps: Purpose and Format. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*. Portland: PICMET.
- Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1-2), 5-26. doi:[https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). *T-Plan the fast-start to technology roadmapping: planning your route to success*. London: Institute for Manufacturing, University of Cambridge.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2010). *Roadmapping for Strategy and Innovation: Aligning Technology and Markets in a Dynamic World*. Cambridge: University of Cambridge.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. R. (2013). Fast-Start Roadmapping Workshop Approaches. En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation* (págs. 91-106). Berlin: Springer.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. R. (2013). Technology Management and Roadmapping at the Firm Level. En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation*. (págs. 13-30). Berlin: Springer.
- Porter, A., & Cunningham, S. (2005). *Tech Mining : Exploiting New Technologies for Competitive Advantage*. New Jersey: Wiley .
- Probert, D., & Radnor, M. (2003). Frontier experiences from industry–academia consortia. *Res. Technol. Manag*, 42(2), 27-30.

- PTAC. (2017). *Petroleum Technology Alliance Canada*. Obtenido de Tight Oil and Shale Gas Innovation (TOGIN) Roadmap: <https://www.ptac.org/wp-content/uploads/2017/05/TOGIN-Roadmap-Report-05May2017.pdf>
- Purewal, S., Pacheco-Roman, F. J., Hernández Juárez, M., León Mella, J. A., & Mera Avecias, G. (2019). A Novel Systematic Approach for the Identification and Evaluation of Environmental and Social Aspects in Oil and Gas Projects Mexico. *PE Annual Technical Conference and Exhibition*. Calgary, Alberta, Canada: SPE.
- RAE. (05 de 2020). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/hoja?m=form#70gsMTc>
- REMBIO. (2020). *Red Mexicana de Bioenergía* . Obtenido de <http://rembio.org.mx/sample-page/>
- Rezaee, R. (2015). *Fundamentals of Gas Shale Reservoirs*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Rivard, C., Lavoie, D., Lefebvre, R., Séjourné, S., Lamontagne, C., & Duchesne, M. (2014). An overview of Canadian shale gas production and environmental concerns. *International Journal of Coal Geology*, 64-76.
- Schlumberger. (2020). *Oilfield Glossary*. Obtenido de Recurso no convencional: https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/u/unconventional_resource.aspx
- Schuh, G., Wemhöner, H., & Orilski, S. (2013). Technological Overall Concepts for Future-Oriented Roadmapping. En I. R. Moehrle M., *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation* (págs. 107-122). Berlin: Springer.
- SCOPUS. (05 de 2020). *Document search*. Obtenido de <https://www.scopus.com/results/results.uri?numberOfFields=0&src=s&clickedLink=&edit=t&editSaveSearch=&origin=searchbasic&authorTab=&affiliationTab=&advancedTab=&scint=1&menu=search&tablin=&searchterm1=%22Technology%22+AND+%22ROADMAP%22+OR+ROADMAPPING+OR+R>
- Scottish Government. (10 de 2019). *Unconventional oil and gas*. Recuperado el 12 de 2020, de <http://www.gov.scot/Topics/Business-Industry/Energy/onshoreoilandgas>
- Secretaría de Energía de Argentina. (12 de 2020). *Producción de gas convencional y no convencional*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/planeamiento-energetico/panel-de-indicadores/prod-gas-conv-y-no-conv>

- SEMARNAT. (10 de 2016). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 12 de 2020, de <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-entrego-a-la-onu-la-ratificacion-del-acuerdo-de-paris>
- SENER. (2014). *Ronda 1*. Obtenido de Los criterios utilizados para definir la Ronda Uno incluyen:
- SENER. (07 de 2015). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 11 de 2020, de Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41843/Plan_Quinquenal.pdf
- SENER. (03 de 2017). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 03 de 2020, de Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2015-2019: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200397/Plan_Quinquenal_2017_vf_140320173.pdf
- SENER. (2018a). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de Ruta Tecnológica CCUS: <https://www.gob.mx/sener/documentos/mapa-de-ruta-tecnologica-ccus>
- SENER. (11 de 2018aa). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: energía solar fotovoltaica: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280283/MRT_SOLAR_FV_11DIC17-OPT.pdf
- SENER. (11 de 2018b). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapas de Ruta Tecnológica de Energías Renovables: <https://www.gob.mx/sener/documentos/mapas-de-ruta-tecnologica-de-energias-renovables>
- SENER. (11 de 2018bb). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: : https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280279/Esquema_MRTSF_12_12_2017.pdf
- SENER. (29 de 01 de 2018c). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Foro "Oportunidades y desafíos en el desarrollo de petróleo y gas de yacimientos no convencionales": <https://www.gob.mx/sener/articulos/la-secretaria-de-energia-invita-al-foro-oportunidades-y-desafios-en-el-desarrollo-de-petroleo-y-gas-de-yacimiento-no-convencionales>
- SENER. (11 de 2018cc). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: energía eólica :

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280278/MRT_E_LICO_13_DIC17_-2-OPT.pdf

SENER. (11 de 2018d). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Prospectivas del Sector Energético: <https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>

SENER. (11 de 2018dd). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: energía eólica : https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280278/MRT_E_LICO_13_DIC17_-2-OPT.pdf

SENER. (11 de 2018e). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Reporte de Avances de Energías Limpias en la Matriz Energética: <https://www.gob.mx/sener/documentos/informe-sobre-la-participacion-de-las-energias-renovables-en-la-generacion-de-electricidad-e>

SENER. (11 de 2018ee). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: usos directos del calor geotérmico: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416191/MRT_UDCG_Final.pdf

SENER. (11 de 2018f). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Balance Nacional de Energía: <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>

SENER. (11 de 2018ff). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: usos directos del calor geotérmico: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416192/Esquema_MRT_UDC_Final.pdf

SENER. (2018g). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Inventario Nacional de Energías Limpias: <https://dgel.energia.gob.mx/inel/>

SENER. (2018h). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Atlas nacional de Zonas con alto potencial de Energías Limpias: <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>

SENER. (12 de 2018i). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 07 de 2019, de Implementación de la reforma energética en materia de Exploración y extracción de hidrocarburos: https://base.energia.gob.mx/ER1218/LB_ExploracionyExtraccion.PDF

SENER. (11 de 2018j). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 02 de 2020, de Prospectiva de gas natural, 2018-2032: https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PGN_18_32_F.pdf

- SENER. (03 de 2018k). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 02 de 2020, de Política Pública en materia de Almacenamiento de Gas Natural:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312167/Documento_Pol_tica_P_blica_de_Almacenamiento.pdf
- SENER. (11 de 2018l). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: energía solar térmica:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341708/MRT_TS_SENER_Final_Rev1.pdf
- SENER. (11 de 2018m). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: energía solar térmica:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341705/Esquema_MRT_TS.pdf
- SENER. (11 de 2018n). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: biogás:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329895/Mapa_Ruta_Tecnologica_BIOGAS_Final-Red.pdf
- SENER. (11 de 2018ñ). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: biogás:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329893/Diagrama_MRT_BIOGAS_Final.pdf
- SENER. (11 de 2018o). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: biodiésel:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/313545/Mapa_Ruta_Tecnologica_BIODIESEL_200318-RED1.pdf
- SENER. (11 de 2018p). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: biodiésel:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/313543/MRT__DIAGRAMA_BIODIESEL_27_12_17.pdf
- SENER. (11 de 2018q). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: biocombustibles solidos:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306074/Mapa_de_Ruta_Tecnologica_BCS_SENER_220218-Red1.pdf
- SENER. (11 de 2018r). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: biocombustibles solidos:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306071/Diagrama_MRT_BCS_22_02_2018.pdf

- SENER. (11 de 2018s). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: bioetanol:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296710/MRT_BIOETANOL_02022018_06_Feb_18-RED2.pdf
- SENER. (11 de 2018t). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: bioetanol:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296706/Esquema_MRTBioetanol_19_12_2017.pdf
- SENER. (11 de 2018u). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: bioturbosina:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324219/MRT_Bioturbosina_Final.pdf
- SENER. (11 de 2018v). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: bioturbosina:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324017/Diagrama_MRT_Bioturbosina_Final.pdf
- SENER. (11 de 2018w). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: geotermia:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279714/MRTGEO_SENER_V_20_Oct_Rev_2-OPT.pdf
- SENER. (11 de 2018x). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: geotermia:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279717/Esquema_MRT_Geotermia_20_Oct.pdf
- SENER. (11 de 2018y). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Mapa de ruta tecnológica: energía del océano:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279712/MRTOCEANO_SENER_V_13112017-2_OPT.pdf
- SENER. (11 de 2018z). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Diagrama del MRT: energía del océano:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279867/ESQUEMA_MRTOCEANO_SENER_VERSION_FINAL_REV2..pdf
- SENER. (01 de 2019). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 12 de 2020, de PRODESEN 2019-2033:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/475497/PRODESEN_V.pdf

- SENER. (01 de 2019). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 12 de 2020, de Implementación de la reforma energética en materia de gas natural: https://base.energia.gob.mx/ER1218/LB_GasNatural.PDF
- SENER. (2020a). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Sistema de Información Energética: <http://sie.energia.gob.mx/>
- SENER. (10 de 2020b). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2020-2024: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/591060/Plan_Quinquenal_2020-2024_vf_2.pdf
- SENER. (12 de 2020c). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 12 de 2020, de Prontuario Estadístico 2020: <https://www.gob.mx/sener/es/articulos/prontuario-estadistico-2020?idiom=es>
- SENER. (11 de 2020d). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 12 de 2020, de Prontuario Estadístico: <https://www.gob.mx/sener/es/articulos/prontuario-estadistico-2020?idiom=es>
- Sides, C. H. (1999). *How to Write & Present Technical Information*. New York: Greenwood Publishing Group.
- SIE. (2020). *Sistema de Información Energética*. Recuperado el 12 de 2020, de Importaciones de gas natural: <http://sie.energia.gob.mx/>
- SIE. (01 de 2020). *Sistema de Información Energética*. Recuperado el 12 de 2020, de Gas natural: <http://sie.energia.gob.mx/>
- Soeder, D. J. (2018). The successful development of gas and oil resources from shales in North America,. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 399-420.
- SPE. (2020). *Society of Petroleum Engineers*. Obtenido de <https://www.spe.org/en/Qjwufn8BRCwARIsAKzP697KHJow09hHz17jFPVS FQ1f2zr>
- SRE. (03 de 2016). *Reforma Energética*. Recuperado el 07 de 2019, de https://embamex.sre.gob.mx/italia/images/pdf/reformas/reforma_energetica.pdf
- Strauss, J., Radnor, M., & Peterson, J. (1998). Plotting and navigating a non-linear roadmap: knowledge-based roadmapping for emerging and dynamic environments. *Proceedings of the East Asian Conference on Knowledge Creation Management*. Singapur: ICKCM.

- The Hill. (04 de 2017). *Maryland governor signs fracking ban into law*. Obtenido de <http://thehill.com/policy/energy-environment/327266-maryland-governor-signs-fracking-ban-into-law>
- Tuft, A. L. (2015). *Unconventional Oil and Shale Gas: Growth, Extraction and Water Management Issues*. New York: Nova Publishers.
- UK Government. (2015). *Department of Energía & Climate Change*. Obtenido de Onshore oil and gas exploration in the UK: regulation and best practice: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/503067/Onshore_UK_oil_and_gas_exploration_Engl_and_Dec15.pdf
- UNCC. (12 de 2015). *United Nations Climate Change*. Recuperado el 12 de 2020, de Acuerdo de París: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- UNIDO. (2020). *United Nations Industry Development Organization*. Obtenido de Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe : <https://www.renenergyobservatory.org/es/aplicaciones/siger.html>
- University of Pittsburgh. (08 de 2013). *Shale Gas Roundtable: Deliberations, Findings and Recommendations*. Recuperado el 12 de 2020, de <http://www.iop.pitt.edu/shalegas>
- Villalba, M. S. (2018). Hidrocarburos no convencionales en Argentina: exploraciones en lo profundo, transformaciones en los territorios. *Territorios. Revistas Universidad del Rosario*, 39, 225-243.
- Wang, Y., & Hefley, W. (2016). *The Global Impact of Unconventional Shale Gas Development*. New York: Springer International Publishing.
- WBA. (2020). *World Bioenergy Association*. Obtenido de <https://worldbioenergy.org/about-us>
- Winebrake, J. J. (2004). *Alternate Energy Assessment and Implementation Reference Book, Book, 2003*. Georgia: Fairmont Press.
- WoREA. (2020). *World of Renewable Energy Association*. Obtenido de <https://worldofrenewables.com/>
- Wright, P. (1977). Presenting technical information: A survey of research findings. *Instructional Science*, 93-134.
- Wright, P., & Reid, F. (1973). Written information: some alternatives to prose for expressing the outcomes of complex contingencies. *Journal of Applied Psychology*, 160-166.

- WWEA. (2020). *World Wind Energy Association*. Obtenido de <https://wwindea.org/>
- Zendehboudi, S., & Bahadori, A. (2017). Chapter One - Shale Gas: Introduction, Basics, and Definitions. En *Shale Oil and Gas Handbook* (págs. 1-26). Gulf Professional Publishing.
- Zendehboudi, S., & Bahadori, A. (2018). *Shale oil and gas handbook*. New York: Elsevier.
- Zhiltsov, S. S. (2017). *Shale Gas: Ecology, Politics, Economy*. New York: Springer International Publishing.
- Zou, C., Dong, D., Wang, Y., Li, X., Huang, J., Wang, S., . . . Qiu, Z. (2016). Shale gas in China: Characteristics, challenges and prospects (II). *Petroleum Exploration and Development*, 182-196.