

Abril, 2026

La deuda ambiental de Pemex

por Diana M. Papoulias, Doctora en ecotoxicología e ictióloga



Contenido

Contaminación por la actividad petrolera terrestre	3
Datos relacionados a fuentes y eventos que son causa de contaminación por hidrocarburos	5
Características de los sitios	8
Otras fuentes de contaminación importantes a considerar	10
Incertidumbre y preocupaciones	11
Derrames e incidentes en el mar y la costa relacionados a la industria petrolera	12
Conceptos generales para abordar la remediación en México	22
Gestión	22
Contaminantes petroleros que preocupan	24
Enfoques para remediación	28
Tecnologías de remediación disponibles para campos petrolíferos	28
Ejemplos de remediación pasada en México	34
El costo de remediar	39
El proceso para registrar sitios contaminados	39
Técnicas y costos de remediación	40
¿Cuánto ha gastado PEMEX a la fecha en remediación?	40
Estimación de costos ambientales actuales atribuidos a PEMEX	42
El costo de remediar sitios contaminados en otros países	45
Financiamiento de los proyectos de remediación de PEMEX	46

Contaminación por la actividad petrolera terrestre

La contaminación de hidrocarburos en México tiene dos razones principales. La primera es la escala masiva de explotación, y la segunda es una supervisión ambiental sumamente laxa.

La perforación de pozos petroleros comenzó a principios de 1900; al día de hoy, se estima que existen 29,000 pozos en 22 de los 32 estados del país. De estos, solo unos 7,000 están activos. La mayoría de los pozos y las instalaciones de apoyo industrial se ubican en la zona oriental del país, bordeando al Golfo de México en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz y Tabasco (Figuras 1 y 2). Adicionalmente, también hay 6,777 ductos aproximadamente, los cuales son utilizados para el transporte de hidrocarburos. Su longitud es de 68,843.15 kilómetros, equivalente desde el ecuador a 1.7 vueltas a la Tierra (Figura 3). El 94% de ellos son terrestres, mientras que 3,973.8 km están en el Golfo de México, frente a los estados de Campeche, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz y 21.5 km están en el Océano Pacífico frente a Baja California.¹

Figura 1. Ubicación de los Pozos de PEMEX. (Fuente: CartoCrítica - Investigación, mapas y datos para la sociedad civil - Mapa 'Gestión ambiental de México' (giscloud.com)).



Figura 2. Ubicación de las Instalaciones de PEMEX. (Fuente: CartoCrítica - Investigación, mapas y datos para la sociedad civil - Mapa 'Gestión ambiental de México' (giscloud.com)).



Figura 3. Red de ductos de PEMEX. (Fuente: CartoCrítica - Investigación, mapas y datos para la sociedad civil - Mapa 'Gestión ambiental de México' (giscloud.com)).

Uno de los principales factores negativos de la industrialización del petróleo es que es imposible la explotación y procesamiento de crudo sin generar contaminantes. Por esta razón, para reducir, mitigar y remediar los daños ambientales provocados por esta industria extractiva, se requiere poder entender claramente la fuente real de los contaminantes, su composición química, cantidad derramada, y su distribución y destino en el medio ambiente.

El proceso tradicional de extracción de aceite crudo se esquematiza a continuación (Figura 4). Los residuos sólidos que contienen contaminantes potenciales, son generados en el proceso de perforación de los pozos en forma de recortes. Estos consisten principalmente en el material geológico sólido que se extrae del subsuelo para crear la apertura de dichos pozos más los minerales y productos químicos que se agregan para hacer posible la penetración del equipo de excavación en estos. Un pozo

típico de 3000 m de profundidad producirá aproximadamente 1000 m³ de recortes (material de desecho). El petróleo crudo que finalmente se extrae del pozo contendrá agua, en cantidades variables según la formación geológica, que deberá separarse en el proceso de industrialización del petróleo crudo y/o gas. El agua es generalmente muy salina, muchas veces más salina que el agua de mar y, al igual que los recortes, contendrá una variedad de elementos minerales, incluidos posiblemente algunos radioactivos. La cantidad de agua congénita en el crudo extraído en México es aproximadamente de 30 l por barril. Una vez deshidratado, el petróleo está listo para su posterior procesamiento como combustibles y productos petroquímicos. Todas estas últimas etapas producirán desechos adicionales ya sea durante el transporte, el almacenamiento, el uso o durante algunos accidentes potenciales en las plantas de procesamiento.

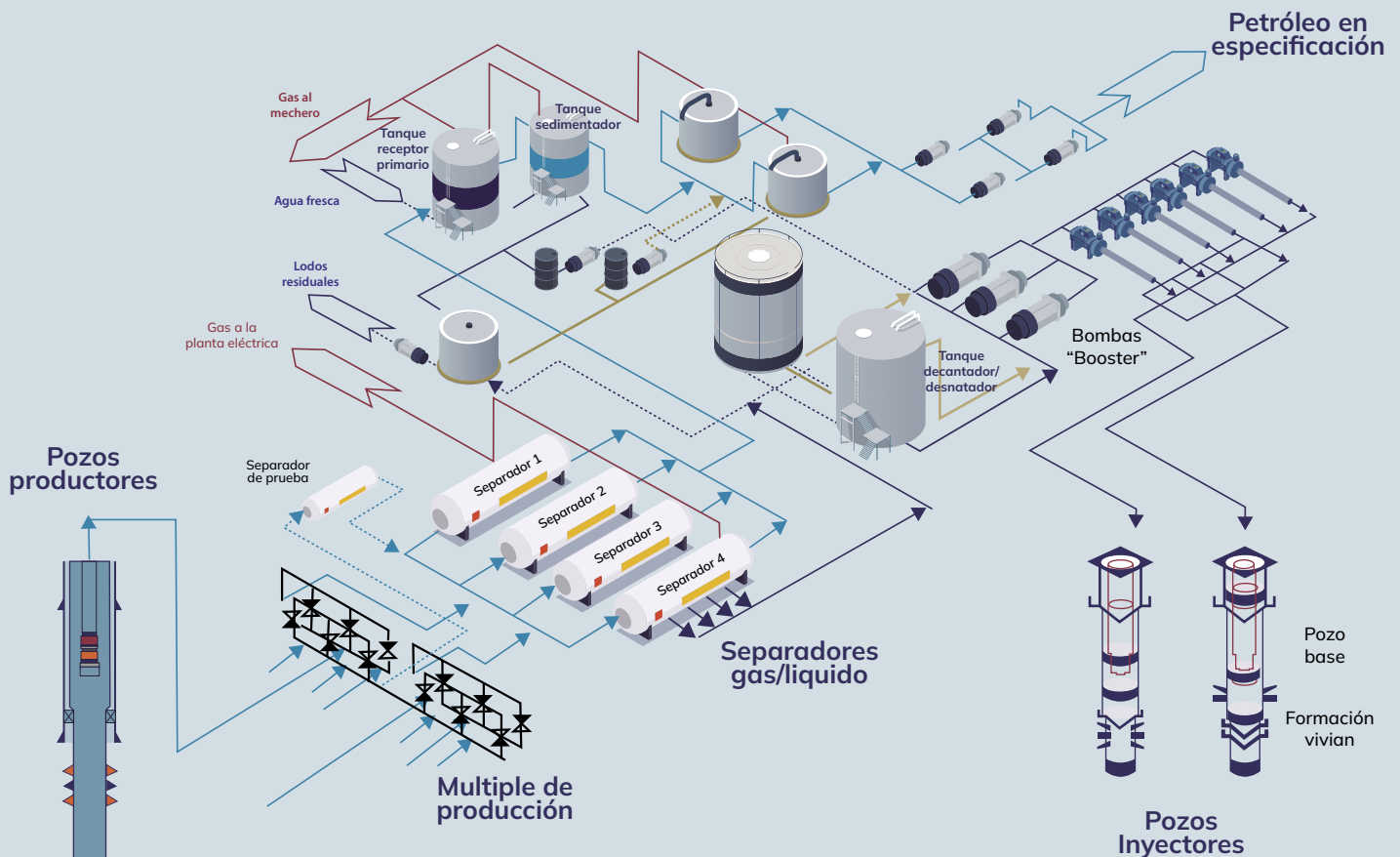


Figura 4. Diagrama del procesamiento del crudo saliendo del pozo. Fuente: Estudio Técnico Independiente del Lote 8. PNUD, Lima Perú. 2022.

Datos relacionados a fuentes y eventos que son causa de contaminación por hidrocarburos

Los registros de sitios contaminados debido a derrames, fugas, accidentes o vertimientos históricos de aguas congénitas, desechos sólidos u otros materiales asociados a la exploración y producción de hidrocarburos no son fácilmente accesibles (se presenta un ejemplo de tipos de desechos producidos en la Tabla 1).² Es importante mencionar que la SEMARNAT tiene disponible información básica sobre los eventos mencionados anteriormente; sin embargo, ésta es incompleta. De igual manera, PEMEX también presenta algunos datos en sus informes anuales y sus presentaciones a

la SEC (Securities and Exchange Commission). Desafortunadamente, estos son inconsistentes e imprecisos. Aparentemente, dichos datos solo son disponibles a partir del año 2000, sin considerar información relevante sobre las categorías, así como las unidades reportadas.

Durante los últimos 20 años, los derrames y fugas en todo el país parecen haber disminuido de un máximo de 1,518 en 2000 a un mínimo de alrededor de 100 por año entre 2009 y 2011. Esto considerando al presente, cierto aumento anual (Figura 5).³ Además de estos incidentes operativos, no se observan reportes acerca de cuántos de los actos vandálicos, generalmente por robo de combustible desembocan en fugas y derrames de petróleo al ambiente.⁴

RESIDUOS PELIGROSOS			
PEMEX EXPLORACIÓN (PEP)	PEMEX REFINACIÓN (PR)	PEMEX GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA (PGPB)	PEMEX PETROQUÍMICA (PPQ)
Residuos sólidos impregnados de hidrocarburos	Lodos aceitosos o sedimentos de hidrocarburos	Residuos sólidos impregnados de hidrocarburos	Clorohidrocarburos pesados
Lodos aceitosos o sedimentos de hidrocarburos	Álcalis	Catalizadores agotados	Diesel contaminado
Productos caducos	Residuos sólidos impregnados de hidrocarburos	Carbón activado agotado	Aceite recuperado de plata de tratamiento
RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL			
Recortes de perforación	Artículos y envases de plástico	-	-
	Envases metálicos	-	-
	Lodos de tratamientos de aguas residuales	-	-

Tabla 1. Residuos peligrosos y de manejo especial generados por PEMEX. Fuente: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46723/AlarconSierraJHumberto.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

² Los sitios contaminados pueden definirse como aquellos lugares donde ha habido depósito, entierro o vertimiento de sustancias químicas o residuos, vinculados a actividades industriales, comerciales, agrícolas o domésticas (SEMARNAT, s.f.)

³ Del año 2018 en adelante, no se incluyen datos de derrames causados por actos vandálicos en los informes de PEMEX, debido a que se concluye que esta empresa no es responsable de la contaminación causada por dichos actos.

⁴ No obstante a esa información, se reportan 15,000 tomas identificadas en 2018, <https://www.revistas.unam.mx/index.php/rmcyps/article/view/75273>

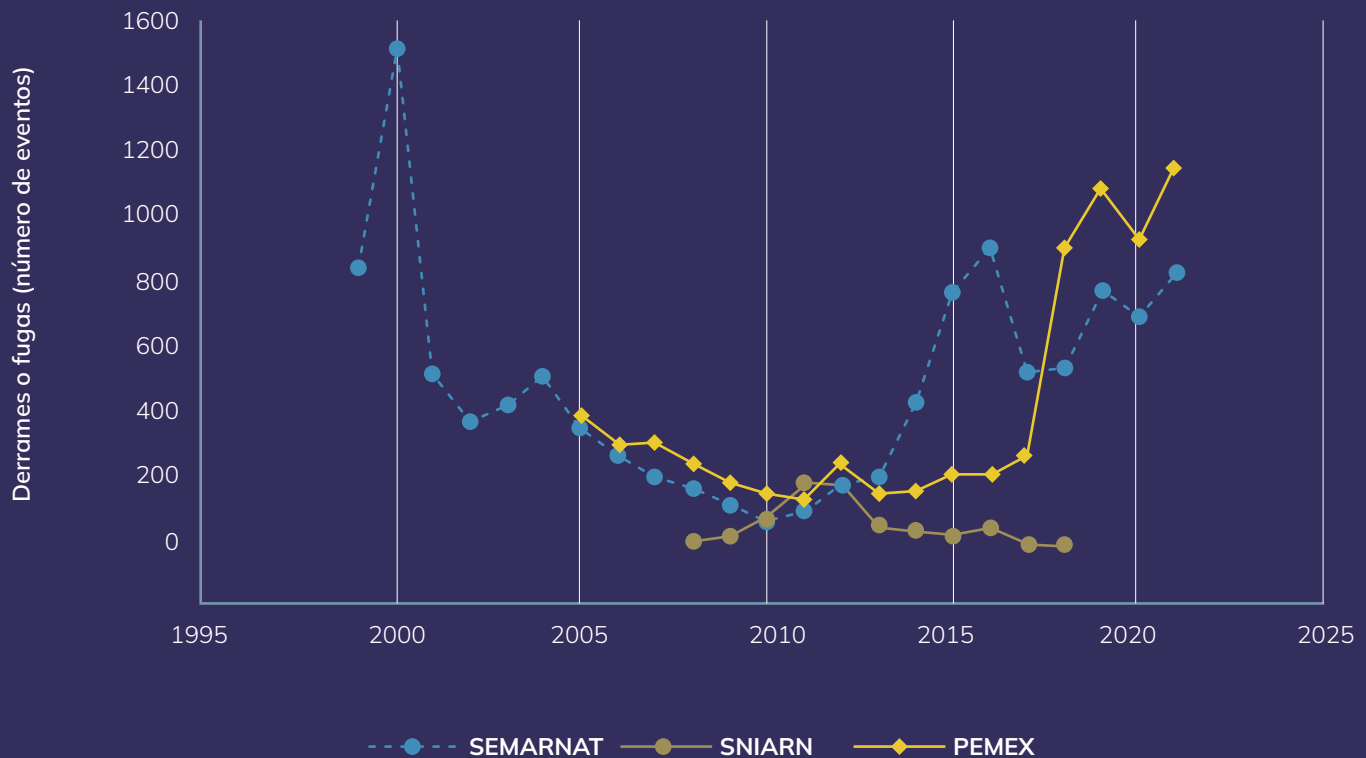


Figura 5. Número de derrames o fugas reportadas por SEMARNAT,⁵ SNIARN,⁶ y PEMEX⁷ entre 1999 y 2021.

El área contaminada como resultado del número total anual de incidentes reportados por PEMEX, generalmente sigue la tendencia en la ocurrencia de estos. Es decir, PEMEX reporta un inventario de sitios contaminados por año, el cual representa el área contaminada total menos el área remediada durante este año (Figura 6). Cabe señalar que, en algunos años, PEMEX pudo “quitar” áreas de su inventario al “probar” que no era responsable de los eventos sucedidos. Por lo tanto, el

inventario se redujo de un máximo de 3,000 ha en el año 2000 a un mínimo de unas 500 ha en 2007; sin embargo, también se presenta una tendencia creciente de éstas, lo que significa la adición de más hectáreas contaminadas al inventario y menos remediación por año. La precisión del área contaminada por PEMEX es cuestionable dado que otros han reportado 7,200 ha contaminadas solo en Tabasco y también la base de datos de SEMARNAT es bastante menor que la que hay en los reportes propios de PEMEX.⁸ Esto sugiere que no hay consistencia en la notificación a SEMARNAT de todos los derrames relacionados con PEMEX. Ambas bases de datos combinan información de contaminación histórica con

5 SEMARNAT datos recibidos a pedido de GatoPardo.

6 Datos del base de SNIARN

7 PEMEX. Informes anuales y SEC filing reports [htt. ps://www.pemex.com/en/investors/regulatory-filings/Paginas/sec-filings.aspx](http://www.pemex.com/en/investors/regulatory-filings/Paginas/sec-filings.aspx)

8 Beltrán-Paz, O.I y Vela-Correa, G. 2009. Suelos contaminados con hidrocarburos y su efecto en la formación de agregados del suelo en la Venta, Tabasco. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

eventos actuales, lo que dificulta separar cuándo ocurrieron los eventos. Curiosamente, PEMEX separa presas como un tipo específico de sitio contaminado y además, proporciona un inventario anual de la cantidad de éstas que quedan por remediar (Figura 7).⁹ Por ejemplo, PEMEX indica que quedan 40 presas en todo el país por remediar, mientras que los datos de SEMARNAT indican que hay 166 en espera de remediación. Es probable que estas sean estimaciones bajas, dada la gran cantidad de viejos pozos perforados (1904 - 1970), antes de que se prohibieran las presas de desechos. Las presas son áreas asociadas con pozos antiguos que se utilizaban para depositar

todo tipo de materiales de desecho, incluidos los flujos iniciales de los pozos exploratorios, recortes, lodos de perforación y otros materiales de desecho del sitio de perforación.¹⁰ Los desechos de las instalaciones de separación antiguas, también pudieron haber sido crudo y agua congénita debido a la separación de éstos. Seguramente, el agua contaminada con hidrocarburos habría sido descargada de estos pozos/instalaciones a un área baja inundable, previo a la normatividad establecida en el 2003 en el sentido de tratar o reinyectar esas aguas en pozos abandonados.¹¹

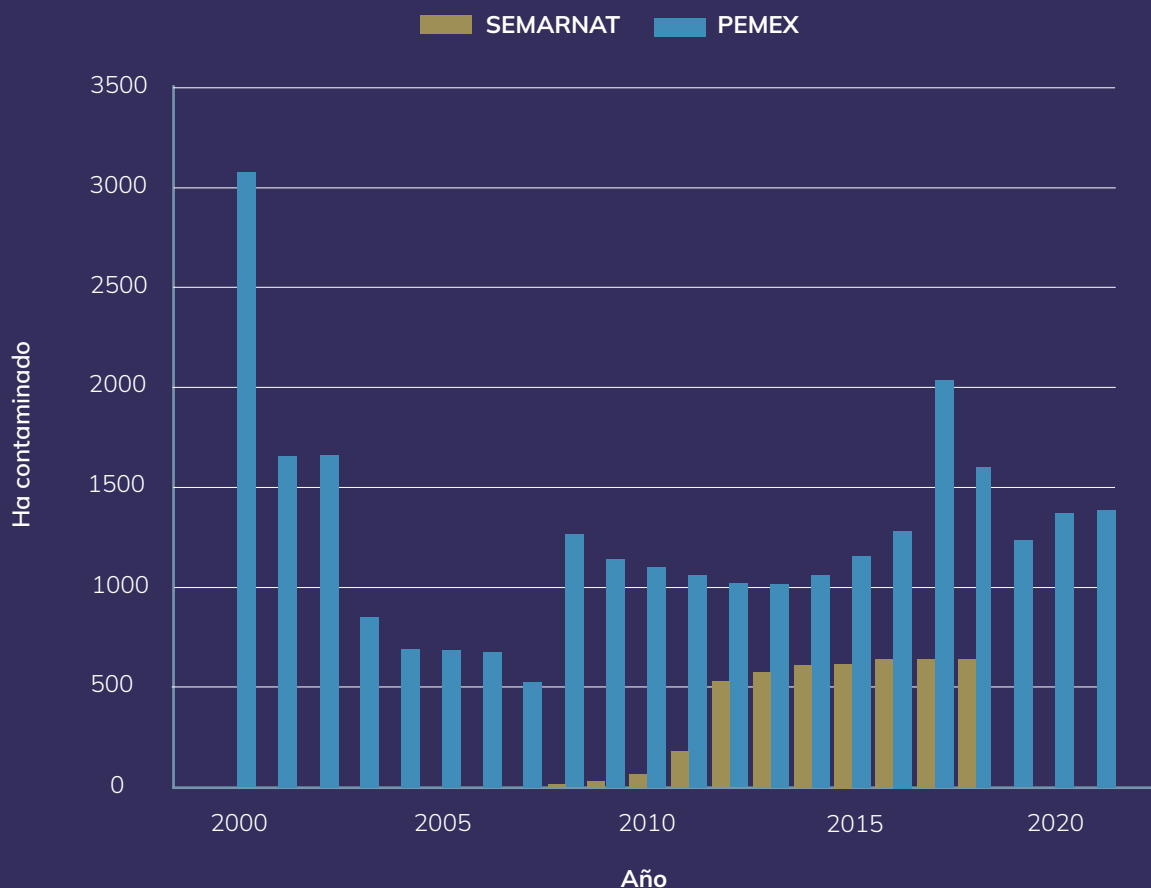


Figura 6. Inventario de suelos contaminados en México a cargo de PEMEX entre 2000 y 2021.

9 PEMEX ha remediado 2988 presas hasta la fecha.

10 <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317209.pdf>

11 Norma Oficial Mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003

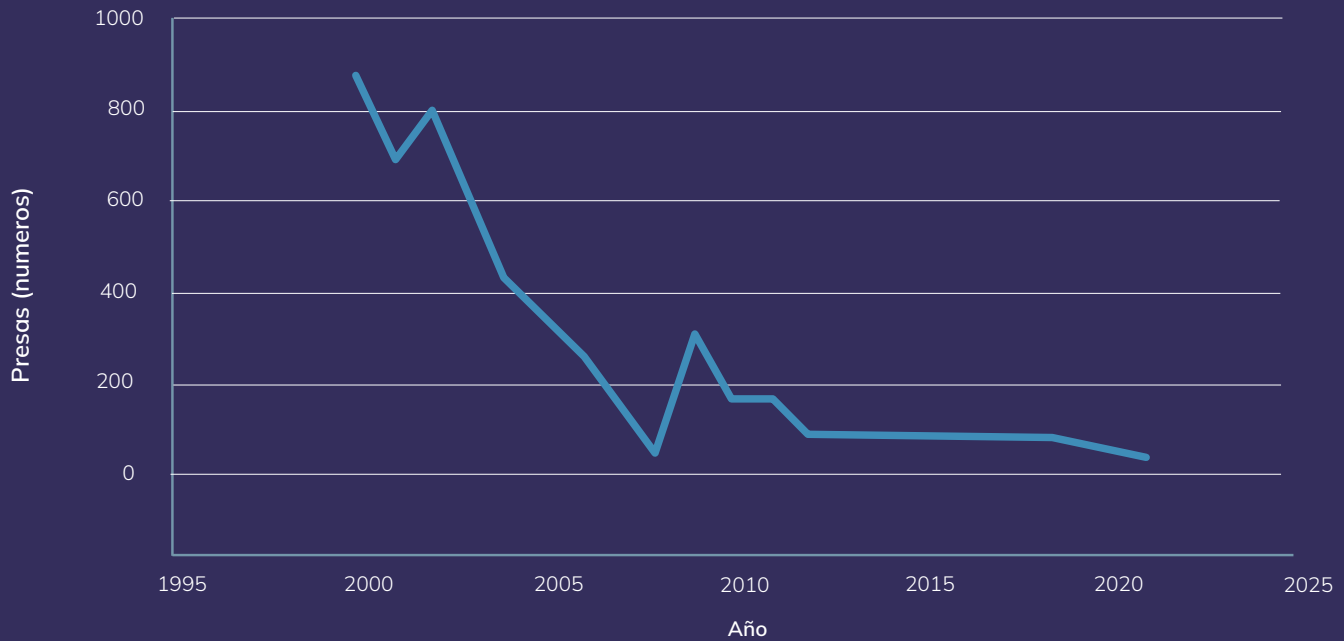


Figura 7. Número de presas para remediar en el inventario de PEMEX.

Pemex ha estimado que el costo para remediar las 1,385 hectáreas en su inventario es 11,000 millones de pesos más 3,500 millones adicionales para 40 presas. El costo tan alto para remediar 40 presas comparado a las 1,385 ha refleja la dificultad en el proceso de remediación de estos sitios.

Características de los sitios

El peligro, el riesgo de toxicidad ambiental y el costo de remediación para cada sitio contaminado dependerán del tipo de material derramado, su concentración y las características ambientales específicas del sitio. Por ejemplo, el crudo pesado derramado en años recientes en los sedimentos de agua dulce es potencialmente más dañino para el medio ambiente y más costoso de remediar que el suelo impregnado con petróleo hace 60 años.

Esta información específica no está fácilmente

disponible para cada uno de los sitios contaminados identificados por la autoridad reguladora o PEMEX, aunque de acuerdo a los datos de SEMARNAT, pudiera existir para los sitios que tienen un plan de remediación. Sin esta información, es imposible evaluar si el costo estimado de remediación de PEMEX es el adecuado o si las técnicas propuestas para su atención son o han sido las adecuadas.

Para comprender el alcance de la contaminación mencionada, es de utilidad un análisis parcial de los datos de SEMARNAT para los estados de Tabasco y Veracruz. Estos dos estados por sí solos, representan aproximadamente la mitad de los pozos (15.000) que se estima se han perforado alguna vez en el país.

La base de datos de SEMARNAT reporta 127, 77 y 80 sitios contaminados asociados a pozos, ductos y presas, respectivamente. Utilizando la información geoespacial proporcionada por Cartocritica, la mayoría de los sitios se ubican en campos agrícolas o pastizales (Figura 8).

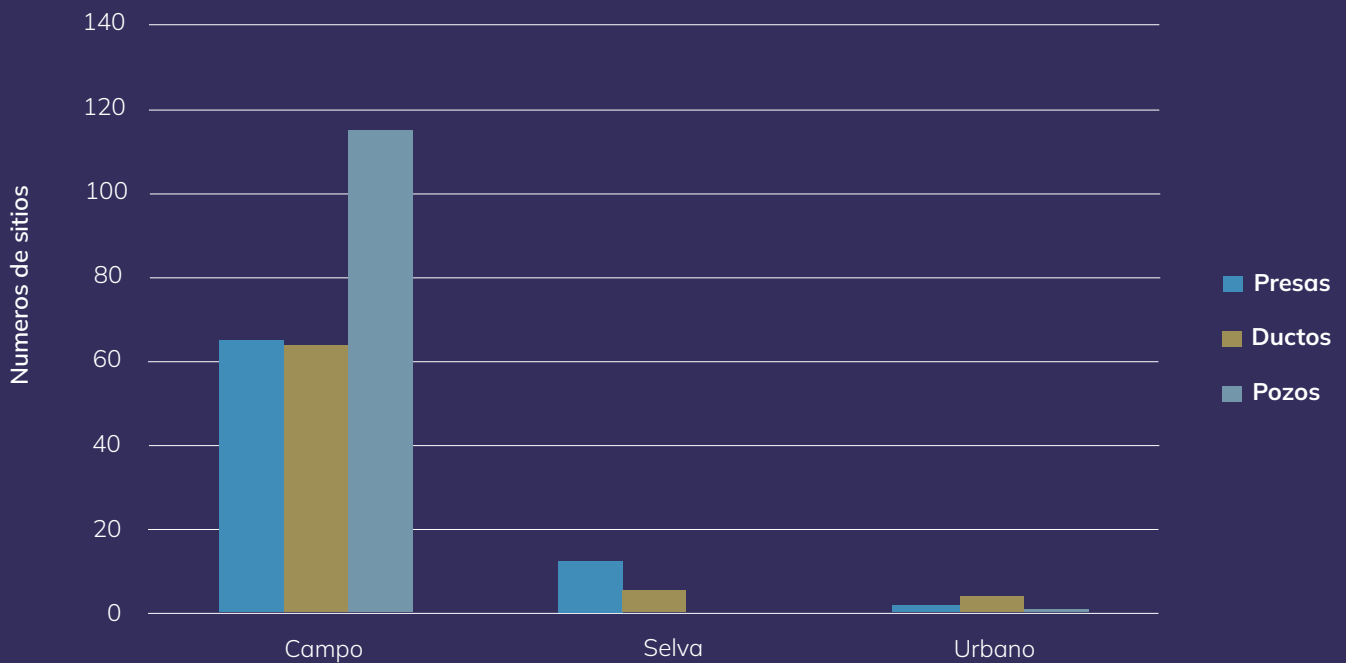


Figura 8. Número de sitios contaminados asociados al uso de suelo. Fuente: Cartocrítica.

Aunque solo 26 sitios están cercanos a aguas superficiales, la mayoría de los suelos donde ocurre la explotación y el procesamiento de petróleo en Veracruz y Tabasco, son planicies costeras inundables de baja elevación, con el nivel freático superficial. Esto significa que los contaminantes pueden migrar directamente al agua del subsuelo a través del drenaje natural. Los suelos tienden a tener un alto contenido de materia orgánica que retrasa el movimiento del petróleo y otros productos químicos. La temperatura cálida y la humedad favorecen a los microorganismos que lo descomponen y aceleran la atenuación natural de los hidrocarburos en el medio ambiente. El tipo de crudo derramado influirá en las características de remediación y también en la toxicidad ambiental. El petróleo crudo ligero es más tóxico, pero se evapora rápidamente y flota en el agua; a diferencia de los crudos más pesados que son menos tóxicos pero tienden a hundirse en el agua, se adhieren a los suelos

y a la vegetación. Por lo tanto, esto dificulta la limpieza. Es importante señalar que no se dispone fácilmente de información sobre el tipo de hidrocarburos derramados en cada sitio; sin embargo, asociar los derrames a pozos (petróleo y agua), oleoductos o instalaciones (agua congénita, crudo y productos destilados) y presas (mezclas de petróleo, agua, lodos de perforación, etc.) puede ser información importante para definir en términos generales el tipo de remediación requerida. En Tabasco y Veracruz, los sitios contaminados a menudo se encuentran localizados en suelos agropecuarios. Estos no solo son receptores biológicos potenciales para los contaminantes de hidrocarburos, sino que la suma de pesticidas, herbicidas y fertilizantes aplicados en estas áreas, pueden crear mezclas de contaminantes ambientales que pueden ser potencialmente más perjudiciales que solo los hidrocarburos.



© totook@hotmail.com

Otras fuentes de contaminación importantes a considerar

Como se menciona en este informe, es importante reconocer que el petróleo crudo y sus productos destilados no son la única fuente de contaminación de la industria petrolera. De hecho, debido a que los volúmenes de algunos de estos subproductos de desecho son enormes y, a menudo están regulados de una manera marginal, podrían tener un impacto adverso significativo en el medio ambiente. Tanto el agua congénita como los recortes de perforación contienen metales pesados y radio nucleídos y aunque las concentraciones son generalmente bajas, los grandes volúmenes del material pueden resultar en una mayor contaminación de suelos, aguas y sedimentos.



Agua congénita

El agua congénita, es el líquido asociado al crudo que se extrae cuando se perfora un pozo petrolero. Ésta en general carece de tratamiento adecuado en México pese a existir normatividad (NOM-143 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos

Naturales) al respecto.¹² En el caso del agua, en algunos casos se drena al mar, cuando la extracción de hidrocarburos se realiza en plataformas marinas; por el contrario, en tierra se reinyecta o se vierte ésta a los cuerpos de agua. La reinyección del agua es preferible y se realiza en la mayoría de los países. Donde se inyecta el agua, es necesario monitorear de cerca los pozos para asegurarse que no existen filtraciones a los acuíferos; esto es especialmente crítico en aguas o zonas con alto nivel de corrosividad.



Recortes

La generación de residuos de perforación –como son los recortes– representa una cantidad importante y no se tiene normatividad específica que regule su presencia en el ambiente y/o los indicadores y niveles que pudieran causar la contaminación de suelos y aguas.¹³ De acuerdo a la legislación ambiental, estos recortes de perforación son considerados como Residuos de Manejo Especial (RME). Por tal motivo, como lo establece la LGPGIR (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos) y el Programa Nacional de

¹² <https://efeverde.com/mexico-tratamiento-aguas-congenitas-pozos-petroleros/>

¹³ <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46723/AlarconSierraJHumberto.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Remediación de Sitios Contaminados (PNRSC), es facultad de las entidades federativas “formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de residuos de manejo especial”.

Incertidumbre y preocupaciones

Las inconsistencias en la información reportada sobre sitios contaminados, plantean una enorme incertidumbre acerca de una deficiente supervisión regulatoria, ya que no se tiene certeza en la confiabilidad de los informes y de los datos disponibles.

La falta de transparencia para identificar, caracterizar y remediar sitios contaminados genera también una gran incertidumbre, ya que muchas preguntas no tienen una respuesta clara. Por ejemplo, ¿Cómo se determina que un sitio está remediado y, por lo tanto, libre del inventario de áreas contaminadas?

Por otro lado, ¿Existe un monitoreo ambiental de las aguas subterráneas entorno a las instalaciones y pozos donde hay sitios contaminados detectados y el nivel freático es superficial? Si esto es así, ¿dónde están estos datos?

La información de “remediación” por parte del personal de PEMEX, incluye una mala práctica al mezclar suelo contaminado con suelo limpio para alcanzar un nivel de concentración de hidrocarburos que cumpla la norma ambiental. ¿Es esta una práctica aceptable para SEMARNAT? Esto lo que muestra es que la contaminación no se elimina; por el contrario, solamente se oculta.

De igual manera es necesario responder otras preguntas fundamentales para el conocimiento del impacto y atención de la contaminación. Por ejemplo, ¿A dónde va el suelo contaminado? ¿Vertederos? ¿Incineración?

La definición de remediación de acuerdo a

la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LPGIR), es el conjunto de tecnologías a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos. La remediación, como sugiere esta definición, a menudo deja grandes vacíos. ¿Existen leyes que requieran que el responsable de la contaminación rehabilite el suelo o el agua afectada para que se restablezcan los servicios del ecosistema?



Derrames e incidentes en el mar y la costa relacionados a la industria petrolera

Pemex inició la exploración en el Golfo de México (GOM) en 1963 con los pozos Isla de Lobos y Arrecife Medio con los cuales fue comprobado la existencia de la Faja de Oro Marina. Esto fue 29 años después de los primeros pozos en el Golfo que fueron descubiertos y perforados por los EE. UU.. Una mancha de petróleo en la Sonda de Campeche en 1972, descubierta por un pescador, fue el inicio de la perforación del pozo Chac-1 en 1976 en las aguas someras de Tabasco. En 2004 Pemex realizaba sus primeras maniobras en aguas profundas (aguas de 330 m de profundidad) frente a las costas de Tabasco y Campeche con el pozo Nab-1.¹⁴

La extracción de crudo y gas off-shore supera lo que se ha venido explotando en las áreas terrestres. En 2021 los yacimientos marinos extrajeron 1359 MBD o 78% de la explotación total terrestre y marina combinadas. De igual manera, la extracción de gas fue 2252 MMpcd o 61% del total. La infraestructura marina de PEMEX consiste en 291 plataformas, 120 campos, > 2000 pozos, 9 terminales marítimas, 8 terminales de almacenamiento, 16

buquetanques y 1500 km de ductos marinos. Además, en la costa se encuentran 5 complejos petroquímicos, 4 procesadoras de gas, y 3 refinerías. Pemex tiene planes para seguir explorando y explotando las aguas profundas a través del plan quinquenal 2020-2024 y esperan licitar 140 mil km² en aguas someras y profundas.¹⁵ Explorar petróleo en aguas profundas ha sido un objetivo energético del estado mexicano porque las reservas cercanas a la costa han sido agotadas. Sin embargo, la probabilidad de derrames y el riesgo aumenta entre más alejada y profunda sea la actividad petrolera.

La explotación de hidrocarburos en el entorno marino genera los mismos contaminantes que en la actividad terrestre. Sin embargo, el proceso de bombeo y movimiento de petróleo y gas son mucho más complejos y los riesgos de accidentes son mayores. Además, debido a la inaccesibilidad, tiende a haber menos supervisión por parte de las agencias reguladoras gubernamentales. Los grandes incidentes (Tabla 1) como Ixtoc (1982), Deepwater Horizon (2010), y Ku-C (2021)

14 Roux, R. and Flores Torres, O. 2015. Los Hidrocarburos en El Noreste de México. Universidad Autónoma de Tamaulipas y el Colegio de Tamaulipas, Matamoros s/n, Centro, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

15 SENER, Plan Quinquenal de licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2020-2024. 81 pg

son conocidos por el público en general, sin embargo, lo que no se conoce fácilmente por no llegar a la costa son las fugas y derrames de crudo, agua congénita, gas, condensados, recortes y lodos de perforación, y varios otros productos de petróleo que son una constante en las instalaciones y buques. Estudios en el CIGoM (Centro de Investigación del Golfo de México) han documentado de 20 a 30 incidentes cada año entre 2018 y 2021 usando satélites. Por esta razón, derrame tras derrame, el Golfo de México aparece una de las cuencas marinas con mayor número de eventos catastróficos

relacionados a los hidrocarburos.

Cuando se presenta algún derrame grande la Secretaría de Marina y su personal interviene para notificar y difundir a las comunidades algún programa de prevención o protección en las áreas aledañas a estos. Ellos coordinan la logística con compañías contratistas y PEMEX para la recuperación y/o desaparición de las manchas de petróleo con el uso de químicos y emulsificantes. Estos procesos generalmente se asumen como parte de la responsabilidad del estado mexicano para su atención.

Tabla 2. Incidentes y derrames notables relacionados a la industria petrolera en el Golfo de México y el Pacífico. RMNE Región Marino Noreste, RMSO Región Marino Suroeste.

AÑO	RESPONSABLE	INSTALACIÓN	CONTAMINANTE	CANTIDAD DERRAMADA	UBICACIÓN/NOTAS
1970 ¹⁶	Shell USA	Plataforma 26	crudo	La mancha abarcó un radio de 12 millas alrededor de la plataforma	Ubicada frente a la costa de Louisiana
1975	Buque tanque Globtik Sun	Plataforma de Chevron	crudo	7,000 barriles	A 160 km de la bahía de Galveston, TX
1979 ¹⁷	Buque tanque Burmah Agate		crudo	2.6 millones gal	Bahía de Galveston, TX
1988 ¹⁷	Buque tanque Nord Pacific		crudo	15,350 barriles	Puerto de Corpus Christi, TX
1990 ¹⁷	Buque tanque Mega Borg		crudo	100 mil barriles	91 km al sureste de la Bahía de Galveston, TX
1993 ¹⁷	Barcaza Ocean 255		combustible	336 mil gal	costa de Tampa Bay, FL
1995 ¹⁷	Buques tanque Berge Banker y Skaubay		combustible	900 barriles	Afuera de la Bahía de Galveston, TX
1996 ¹⁷	Barcaza Búfalo-292		hidrocarburo	6 mil barriles	Bahía de Galveston, TX
1997 ¹⁷	Oleoducto de Texaco		crudo	11,904 barriles	Lago Barre, LA
2000 ¹⁷	Buque tanque Westchester		crudo	30 mil barriles	Río Mississippi a 96 kilómetros al sur de Nueva Orleans, LA

AÑO	RESPONSABLE	INSTALACIÓN	CONTAMINANTE	CANTIDAD DERRAMADA	UBICACIÓN/NOTAS
2005 ¹⁷	Barcaza DBL-152			30 mil barriles	Entre TX y FL
2006 ¹⁷	High Island	Oleoductos	crudo ligero	1,252 barriles	56 km al sureste de Galveston, TX
2010 ¹⁷	BP	Pozo macondo	crudo	5 millones barriles	72 km de la costa de LA
2012 ¹⁷	Black Elk Energy	Plataforma	sustancia desconocida	cantidad desconocida	En aguas poco profundas frente a las costas
2013 ¹⁷	Taylor Energy	Plataforma Saratoga	sustancia desconocida	cantidad desconocida	a unos 40 km al sureste de Grand Isle, Luisiana (LA)
2014 ¹⁷	Mancha misteriosa	fuelle desconocida	sustancia desconocida	cantidad desconocida	El bloque
1979 ¹⁷	PEMEX	Ixtoc	crudo	3.3 millones barriles	Mississippi Canyon 20A
1987 ¹⁷	PEMEX	Plataforma YUM II/ Zapoteca	crudo	600 mil barriles	Costa de Nueva Orleans, LA
1995 ¹⁷	PEMEX	Buque tanque "Sebastián Lerdo de Tejada"	crudo y solidos	33,500 L y 3 ton. solidos impregnados	94 km frente a la costa de Ciudad del Carmen, Campeche
2001	PEMEX	fuelle desconocida	hidrocarburos	29 derrames 438 ton.	32 km frente a la costa de Ciudad del Carmen, Campeche
2002 ¹⁸	PEMEX	fuelle desconocida	hidrocarburos	27 derrames, 279 ton.	
2007	PEMEX	Kab 121	crudo	21,944 barriles	28 derrames RMNE, 1 derrame RMSO; 69 ton RMNE, 369 ton RMSO
2008	PEMEX	varias	varios hidrocarburos	21 incidentes y 655 barriles	25 derrames RMNE, 2 derrames RMSO; 8 ton RMNE, 261 ton RMSO
2009 ¹⁹	PEMEX	varias	varios hidrocarburos	10 incidentes 166 barriles	26 km de la costa de Tabasco/54 días descontrolado
2012 ²⁰	PEMEX	Hundimiento Monoboya; más RMSO ¹⁹	petróleo	1000 L; 19 barriles	Ocurrió en el Pacifico, 12 a 15 km costa Oaxaca afectada

18 García Cuéllar, J.A. 2006. Análisis del Impacto de la Industria Petrolera en el Ecosistema y su Relación con las Pesquerías de la Sonda de Campeche, México. Tesis. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C.

19 Subdirección de Seguridad, Salud en el Trabajo y Protección Ambiental. Gerencia de Seguridad, Salud en el Trabajo y Protección Ambiental-Región Marina, 2022

20 Punto de acuerdo por diputado Amílcar Augusto Villafuerte Trujillo, del grupo parlamentario del PVEM, 2012; Mendoza, E. 2013. En Panismo, 4.5 millones de litros de petróleo derramados. Contralinea

AÑO	RESPONSABLE	INSTALACIÓN	CONTAMINANTE	CANTIDAD DERRAMADA	UBICACIÓN/NOTAS
2014	PEMEX	Akal TD ²¹ y otros ¹⁹	crudo	346 barriles	Yacimiento Cantarell /explosión
2015 ²²	PEMEX	Abkatun A	combustible	35 barriles	Sonda de Campeche/ explosión
2016	PEMEX	Buque Burgos ²³ y otros ⁶	diésel y gasolina	parece no hubo derrame; otros 13 barriles	Puerto de Veracruz, incendio
2017 ²³	PEMEX	fuelle desconocida	crudo	cantidad desconocida	Frente a las playas de Salinas del Marqués, Oaxaca
2019 ^{6,24}	PEMEX	Terminal Marítima Cayo Arcos	crudo	24 barriles	Campeche
2020 ²⁵	PEMEX	Monoboya	combustóleo	cantidad desconocida	Salinas del Marques y Playa Azul, Oaxaca
2020 ²⁶	PEMEX	Refinería Antonio Dovalí Jaime	combustible	cantidad desconocida	Bahía La Ventosa, Puerto Salina Cruz, Oaxaca
2021	PEMEX	KU-C ; ²⁷ incidentes más ¹⁹	fuga gasoducto	67 barriles crudo ¹⁹	Ojo de fuego, plataforma Ku-Charly, Sonda de Campeche
2022 ¹⁹	PEMEX	Línea 111 Akal N y Plataforma EK-TB	crudo	13 barriles	2 incidentes

Un registro de derrames y accidentes dentro de instalaciones recopilado por PEMEX desde octubre 1997 a agosto 2022 enlista 1083 reportes de derrames (Tabla 2).²⁸

21 <https://www.reuters.com/article/mexico-pemex/blast-at-pemex-shallow-water-oil-platform-in-southern-gulf-local-media-idINL1N0Z81NH20150622>

22 <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/932782/0001193125165919> (pemex.com)

23 https://www.pemex.com/ri/reguladores/ReportesAnuales_SEC/2016_20F_i.pdf

24 México Ambiental. 2017. ¡PEMEX hace de nuevo! Derrame de petróleo en Santa Cruz

25 <https://www.jornada.com.mx/2020/11/10/estados/030n1est>

26 <https://docs64.congresoaxaca.gob.mx/gaceta/20210707a/55.pdf>

27 <https://noticaribe.com.mx/2021/07/02/campeche-controlan-ojo-de-fuego-que-amenazaba-plataforma-petrolera-ku-charly/>

28 Información no pública, fuente anónima

Tabla 3. Registro de derrames y accidentes en PEMEX 1997 a 2022.

	HC (LIGEROS) O CRUDO + AGUA	HC (PESADOS) O CRUDO + AGUA	LODOS/ SOLIDOS	AGUA CONGÉNITA	OTROS	ACCIDENTAL	OPERACIONAL
Numero <= 1 Barril	283	67	44	53			
Numero >1 Barril	231	68	131	90			
Total	514	135	175	143	116	501	582
Volumen total (Barriles)	19,517 ²⁹	2,818 ³⁰	3,206	374			

Estos derrames fueron relativamente menores y consistieron en diversos problemas durante las etapas de procesamiento para mejorar la calidad del petróleo o el gas a partir de la eliminación de impurezas como son sales, agua y gases no deseados o bien durante la transferencia a tanques de almacenamiento y embarcaciones de transporte. Se ha podido detectar que existen muchas emanaciones naturales en el GOM y esto pudiera llegar a confundirse con los derrames de petróleo; sin embargo, un análisis químico y espectral pudiera encontrar la fuente real.³¹

Al igual que la explotación petrolera terrestre, los recortes de perforación, lodos y agua congénita son los principales productos de desecho que pueden contaminar el medio ambiente si no se eliminan adecuadamente. En su informe de sustentabilidad 2018, PEMEX reportó una disposición de 50,800 toneladas de recortes de perforación de pozos terrestres y marinos. La reinyección de dichos recortes se realiza en plataformas marinas desde el año 2004. De igual manera, hay información que muestra una etapa de transición en el envío de los recortes de perforación en contenedores a la Terminal

Marítima Dos Bocas (TMDB) para ser transportados vía terrestre al estado de Nuevo León donde fueron tratados con desorción térmica; algo muy costoso dado el enorme volumen de material.³²

La práctica, hasta fines de los 80s, fue verter los recortes y lodos de perforación al mar; se estima recortes de 840 pozos. Un pozo típico produce 4000 barriles (aprox. 640,000 litros, y 1730 kg/m³ o aprox. 1.1 millones de kg) de recortes. Según la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), existen un total de 2,400 pozos marinos. En la Tabla 3, se pueden ver estimaciones de las cantidades de hidrocarburos y metales en los recortes. Hoy día con la perforación en aguas más lejos de la costa y profundas han buscado reducir los costos de transporte y procesamiento de esta enorme cantidad de material de desecho y de nuevo están descargando al mar previo secarlo.³³

29 Solo 1 fue de 16,536

30 Solo 1 fue de 2,400

31 MacDonald, I. R., et al. 2015, Natural and unnatural oil slicks in the Gulf of Mexico, J. Geophys. Res. Oceans, 120, 8364–8380

32 García, M.M. et al. (2009). Determinación de la condición de riesgo para el proceso de reinyección de recortes de perforación en pozos agotados en dos plataformas costa fuera en el suroeste de la Sonda de Campeche. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG 12(24):82-93.

33 Pérez Damas, J de C., 2013, Descargas controladas de recortes de perforación, reduce costos con bajo impacto ambiental en aguas profundas y ultra-profundas.

Tabla 4. Cantidad estimada de hidrocarburos y metales pesados en recortes de perforación de PEMEX en todos los pozos off-shore, comparado a lo que ha sido medido en los sedimentos.

	CONTAMINANTE (MG/ KG)	2,400 POZOS OFF-SHORE	840 POZOS OFF-SHORE ANTES DE 1991
Cantidad de recortes		2.6 millones de toneladas	1 millón de toneladas
Hidrocarburos totales³⁴	57,800	153,000 toneladas	53,550 toneladas
Bario (Ba)	3.4	9 toneladas	3 toneladas
Cadmio (Cd)	25.5	67 toneladas	24 toneladas
Cromo (Cr)	18	47 toneladas	17 toneladas
Cobre (Cu)	71.5	180 toneladas	63 toneladas
Níquel (Ni)	71.5	180 toneladas	63 toneladas
Plomo (Pb)	33.5	88 toneladas	31 toneladas
Zinc (Zn)	66	170 toneladas	60 toneladas

Además de los recortes, la perforación de pozos requiere lodos que pueden contener altas concentraciones de hidrocarburos si son en base de aceite, así como bario y otros productos químicos para evitar la corrosión y facilitar la perforación. La disposición de residuos de manejo especial y peligrosos, que incluye borras (residuos aceitosos) y lodos de los tanques y contenedores etc. son contratados con terceros aprobados por SEMARNAT.

Los recortes y lodos vertidos al mar, por su densidad, se hunden al fondo del mar, cerca de los pozos. Un análisis de perfiles de sedimentos de la costa de Veracruz y Tamaulipas (área con pozos viejos) muestra claramente un registro de metales pesados a lo largo del tiempo consistente con la actividad petrolera y que las concentraciones han ido disminuyendo en la última década con una regulación más estricta.³⁵

Agua congénita es agua que se encuentra en asociación con el petróleo y el gas y debido a este contacto por millones de años contiene ciertos compuestos que habían sido disueltos. También, sale del reservorio a temperaturas muy elevadas. Los componentes del agua varían según las características del yacimiento. El agua congénita contiene una mezcla compleja de compuestos inorgánicos (Tabla 4) como concentraciones de sales (cloruros a 150,000 ppm o más, 5 veces mayor a la concentración de agua del mar), metales radioactivos (p.e. estroncio, radio), metales pesados (cadmio, arsénico, plomo etc.), sólidos en suspensión, orgánicos (hidrocarburos en suspensión y disueltos, trazas de ácidos grasos y otros compuestos orgánicos), y, en algunos casos, concentraciones residuales de trazas de aditivos químicos (por ejemplo, incrustaciones y desincrustantes, inhibidores de corrosión y secuestrantes de oxígeno, desemulsificantes, biocidas), que a veces se utilizan para mejorar

34 Céron-Bréton, G. J. 2009, Determinación de la condición de riesgo para el proceso de reinyección de recortes de perforación en pozos agotados en dos plataformas costa fuera en el suroeste de la Sonda de Campeche. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG 12(22): 82-93.

35 Ruiz-Fernández, A.C., J.A. Sanchez-Cabeza, L.H. Pérez-Bernal, and A. Gracia. 2019. Spatial and Temporal Distribution of Heavy Metal Concentrations and Enrichment in the Southern Gulf of Mexico. Science of The Total Environment 651: 3174-86; NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

el proceso de producción de hidrocarburos. Esta agua congénita es un contaminante del petróleo y tiene que ser separada y eliminada. El proceso de separación genera dos tipos de desechos sólidos (lodos) y líquidos.

El procesamiento del agua congénita se lleva a cabo en plataformas o en complejos industriales en la costa como es la Terminal Marítima de Dos Bocas o una combinación de ambas.³⁶ Por ejemplo, en la instalación Abkatun en la Sonda de Campeche se separa y se deshidrata el crudo antes de inyectarlo a pozos de captación. Cabe mencionar que también se permite descargar al mar como una opción, 'previo tratamiento' a niveles establecidos por la normatividad por alguna eventualidad presentada.³⁷ Estas descargas no están exentas de impactos, ya que un estudio realizado en 2015 encontró niveles de metales y HAPs (hidrocarburos aromáticos policíclicos) de agua congénita en sedimentos y tejidos de peces cerca de estas plataformas.³⁸

Tabla 5. Un ejemplo de concentraciones (mg/L) de contaminantes en agua congénita de pozos en el Golfo de México.

PARÁMETRO	SIN TRATAMIENTO ³⁹	CON TRATAMIENTO ⁴⁰	NORMA ⁴¹
Temperatura	75 °C	30.8 °C	40 °C
Aceites y grasas	5,338	55	15
HTP (hidrocarburos totales de petróleo)	336	31	40
SDT (sólidos disueltos totales)	420,400	91,110	32,000
SST (sólidos suspendidos totales)	1850	629	150
Arsénico (As)	< 0.008	0.04	0.1
Cadmio (Cd)	0.322	0.003	0.1
Cobre (Cu)	0.495	0.17	4
Zinc (Zn)	0.79	0.18	10
Cromo (Cr)	0.649	13	0.5
Mercurio (Hg)	< 0.005	0.0003	0.005
Níquel (Ni)	2.44	ND	2
Plomo (Pb)	3.179	0.05	0.2

36 PEP. 2015. Estudio de Impacto Ambiental. Manifiesto de impacto ambiental construcción de un difusor marino 32" de ø x 4*864 km para descarga de aguas residuales tratadas, provenientes del sistema de deshidratación y acondicionamiento de los hidrocarburos que arriban a la terminal marítima dos bocas. 338 p

37 ASEA. 2018. Resolución Procedente, Expediente: 04CA20 1 8X00 I7.

38 Schifter, I. et al. 2015. Long-term effects of discharge of produced wáter to the marine environment from petroleum-related activities at Sonda de Campeche, Gulf of Mexico. Environmental Monitoring and Assessment.

39 PEP. 2018. Manifiesto de Impacto Ambiental modalidad particular para una actividad alterna como flexibilidad operativa en los procesos de la plataforma PB-Abkatun-A2.

40 PEMEX. 2015. Manifiesto de impacto ambiental construcción de un difusor marino 32" de ø x 4*864 km para descarga de aguas residuales tratadas, Provenientes del sistema de deshidratación y acondicionamiento de los hidrocarburos que arriban a la Terminal Marítima Dos Bocas.

41 Norma oficial mexicana Nom-143-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos.

La CNH reporta una producción de agua congénita de cerca de 250 MBD desde 2016; es decir por cada 100 barriles de crudo se producen aprox. 17 barriles de agua congénita. Hasta 1990, antes de la regulación ambiental, probablemente se vertían un total de 1,000 millones de barriles de agua congénita en el GOM. El agua congénita descargada que es permitida en ambientes marinos costeros contiene principalmente bajas concentraciones de petróleo, grasas, y sales. Los objetivos principales son evitar contaminación de las aguas estancadas y las zonas pesqueras. Los límites en las zonas costeras y marinas son de 40 mg/l grasas y aceite, y para sólidos disueltos de 32,000 ppm con descarga a una distancia mayor de 2 km mar adentro. La norma requiere un control a través de bitácoras (si el agua es inyectada en pozos agotados o tratada para recuperar más petróleo)⁴² y monitoreos semestrales (para las descargas).⁴³

La industria petrolera, en particular los sectores de refinería y petroquímica, usa y descarga enormes cantidades de agua residuales.⁴⁴ Datos en CartoCritica indican que 70% de las industrias identificadas que descargaron directamente al GOM durante 1994 a 2018 fueron relacionadas a la industria petrolera y vertieron aprox. 90 millones m³ de aguas residuales.

Otro asunto importante tiene que ver con la vigilancia óptima sobre las empresas que son contratadas por PEMEX para manejar las grandes cantidades de residuos (sólidos y líquidos) debido al alto costo de disposición de acuerdo a la ley, con el propósito de asegurar la protección al ambiente. Las entidades que manejan los residuos peligrosos del GOM registraron 9450 toneladas en 2017, de los

cuales 75% fueron lodos aceitosos. La evaluación en 2013 de la OCDE⁴⁵ sobre el desempeño ambiental señaló que “el cumplimiento de la NOM sobre los sitios de disposición final (NOM-083-SEMARNAT-2003), que regula la construcción de éstos es aún pobre, especialmente en los municipios pequeños, así como también las sanciones son bajas, sin considerar los incentivos.” Se recomienda, por lo tanto, vigilar el cumplimiento de la regulación ambiental de residuos y reducir la disposición ilegal. Además, las grandes instalaciones como la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB) son fuentes de desperdicios y constantes fugas a su entorno inmediato y serán importantes pero difíciles lugares para remediar. Por ejemplo, en la TMDB se ha encontrado durante auditorías recortes del mar en contenedores grandes abandonados no reclamados por las empresas contratadas.

Además de la contaminación del medio marino por las instalaciones off-shore, los ríos costeros de Tamaulipas, Veracruz y Tabasco transportan una gama de contaminantes que son despositados en aguas y sedimentos en la costa del Golfo de México entre ellos, contaminantes de la industria petrolera. El Río Tuxpan, en Veracruz es un ejemplo entre muchos con una gran cantidad de pozos (1496) y baterías de separación (46) en su cuenca de 863 km². Entre estos pozos, 627 fueron perforados antes de 1990 cuando había aún menos control sobre aguas congénitas y recortes.⁴⁶ Se encuentra altas concentraciones de metales en los sedimentos del Río Tuxpan aguas abajo de la actividad petrolera, y arriba de la zona urbana de la ciudad de Tuxpan, que migran hacia su delta en el GOM en cada ciclo de lluvias.⁴⁷ En la boca del Río Tuxpan se

42 Manejo de Agua Congénita, Capítulo 8. Informe Anual 2007.

43 Norma oficial mexicana Nom-143-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos.

44 Sheinbaum-Pardo, Claudia, Carlos Chávez-Baeza, y Sebastián Lelo de Larrea. 2012. Energy and Water Linkage in Mexico.

45 OCDE (2013), Evaluaciones de la OCDE sobre el desempeño ambiental: México 2013, OECD Publishing.

46 Véase Contaminación por la Actividad Petrolera Terrestre por Papoulias, D.M.

47 Macías Hernández, P.G. 2015. Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz. Tesis. Universidad Veracruzana.

encuentra la laguna Tampamachoco que está altamente contaminada con metales e hidrocarburos igual que la mayoría de las lagunas costeras de los Estados con mayor presencia de la industria petrolera (en Tamaulipas: Laguna Madre, en Veracruz: Laguna Salada, Laguna el Llano, Laguna la Mancha, Laguna Mandinga, Laguna Tamiahua, Laguna Pueblo Viejo, Laguna de Sontecomapan, en Tabasco: Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, Laguna Mecoacán).⁴⁸

En este sentido, los campos petroleros ubicados en las regiones marinas y sus cuencas han descargado continuamente contaminantes en la franja costera del GOM, lo cual ha resultado en una elevada concentración de metales pesados e hidrocarburos en la vida marina. Puede parecer que el gran volumen y área de agua en el Golfo de México puede diluir los contaminantes a niveles que no son dañinos, pero la gran magnitud de la industria (Figura 9) sustentada por la investigación y el monitoreo en curso sugiere que la vida acuática en el GOM está siendo impactada negativamente. El daño biológico y ecológico provocado por la industria de los hidrocarburos tiende a ser más severo si ocurre en las lagunas, los estuarios o la zona intermareal porque son ecosistemas importantes para las etapas biológicas sensibles de diversas especies como son la reproducción, crianza y alimentación de crías. Sin embargo, un estudio de línea base en el que se monitoreó por 7 años en todo el GOM la exposición de hidrocarburos en peces, encontró que presentan afectaciones de consideración.⁴⁹ El estudio documentó concentraciones de HAPs en la bilis de varias especies de peces de importancia económica.

Hace 20 años, Pemex empezó un programa de monitoreo y vigilancia ambiental en el GOM a través de campañas oceanográficas realizadas

con el apoyo de instituciones académicas. La publicación de un Atlas de los resultados de hidrocarburos en agua y sedimento del GOM documenta y sustenta la contaminación por residuos proveniente de la industria (Figura 10). Pero aun en la mayoría, PEMEX es juez y parte como con la colecta de datos en monitoreo, su análisis en sus laboratorios y entrega de información.

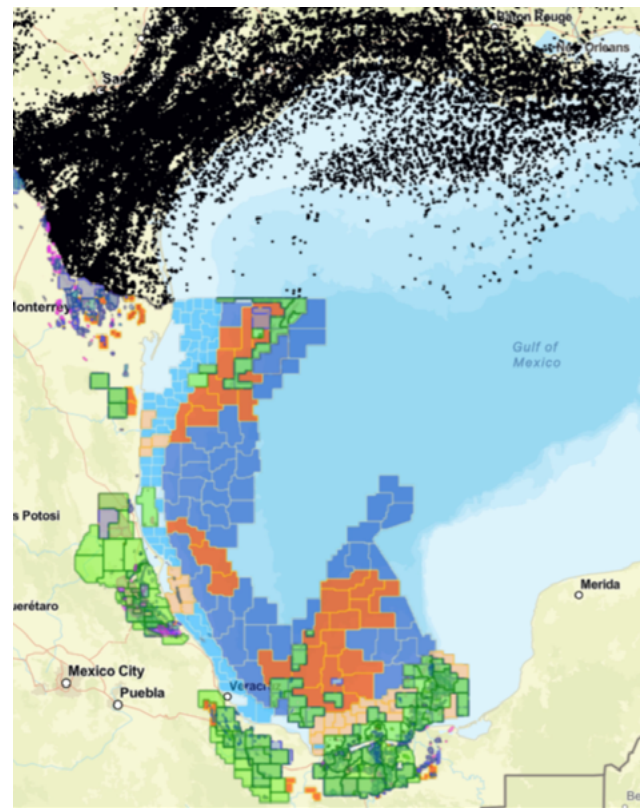


Figura 9. Mapa de la actividad petrolera actual y a futuro en el Golfo de México. Mapa de actividad actual y proyectada en el Golfo de México. Los puntos negros son pozos en los estados unidos. Los polígonos de colores indican bloques o campos desarrollados o para desarrollar en México. Bloques azules son parte del Plan Quinquenal 2020-2024, los demás son asignaciones y contratos. Fuente CNH, <https://mapa.hidrocarburos.gob.mx/>

48 Botello, A.V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, 2005. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

49 Pulster, E.L. et al. 2020. A first comprehensive baseline of hydrocarbon pollution in Gulf of Mexico fishes. Nature Research. 10:6437.



© kokcoden.list.ru

Conceptos generales para abordar la remediación en México

Gestión

El número, extensión y complejidad de la contaminación -la cual es el resultado de la exploración y explotación de hidrocarburos en México- requiere una respuesta de estado, a nivel nacional. Un modelo de gestión propio para remediar los sitios contaminados con hidrocarburos es algo similar al programa Superfund de la USEPA (<https://www.epa.gov/superfund>) establecido por ley, en 1980. Los objetivos generales de este programa son proteger la salud humana y el medio ambiente,⁵⁰ reducir el riesgo para quienes viven y trabajan cerca de los sitios, o bien, disminuir la contaminación y los riesgos para el medio ambiente. Hasta 2017, el costo de dicha remediación ha alcanzado más de \$20 billones de dólares y con cientos de sitios aún por remediar.

En México el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados (PNRSC), iniciado en 2010, es semejante al programa *Superfund* en su concepto; sin embargo, su implementación ha sido muy pobre. El PNRSC tiene el propósito a reducir el número de sitios contaminados para prevenir y

reducir los riesgos a la salud y al ambiente, así como prevenir la generación de los mismos.⁵¹ Es importante destacar que establecieron el PNRSC reconociendo que las principales causas de la contaminación son las siguientes:

- ▶ Disposición inadecuada de residuos peligrosos en terrenos baldíos, bodegas, almacenes e instalaciones industriales.
- ▶ Fugas de materiales peligrosos (en especial los hidrocarburos y sus derivados) de tanques y contenedores subterráneos.
- ▶ Fugas de materiales peligrosos (en especial los hidrocarburos y sus derivados) de tuberías y ductos.
- ▶ Lixiviación de residuos peligrosos en sitios de almacenamiento y también en sitios donde se desarrollan actividades de manejo de residuos peligrosos.
- ▶ Derrames de sustancia químicas por accidentes de transporte.
- ▶ Disposición inadecuada de residuos peligrosos o sólidos contaminados con estos en los sitios de disposición final para residuos sólidos urbanos.

50 Probst, K.N. and Sherman, D. 2004. Success for Superfund: A new approach for keeping score. Resources for the Future.

51 Schmidt, W. et al. 2010. Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados. SEMARNAT.

Bajo este programa hasta la fecha, solo dos sitios contaminados con hidrocarburos han sido remediados. Son los sitios de la ex-Refinería 18 de Marzo en la Ciudad de México y Texistepec en Veracruz . Este último a pesar de que entre 2001 al 2016 se aplicaron más de 1,700 millones de pesos en la remediación ([Texistepec - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)) incompleta, hoy en día sigue contaminado .

Un aspecto importante para este programa nacional es establecer, mantener, y difundir al público un inventario o registro de sitios con descripción (con localidad geo-referenciada), avances, y prioridad para remediación. México está en proceso de consolidar esta información a través del *Inventario Nacional de Sitios Contaminados (INSC)*.⁵² Actualmente, la SEMARNAT cuenta con un registro de 913 y 594 sitios contaminados y potencialmente contaminados en el país, pero parece que los detalles no son públicos ni actualizados además no queda claro si incluye sitios contaminados con hidrocarburos. Esto según una revisión que indica falta de información de la ASEA.⁵³

Los actores y las fases de un programa de remediación



El rol del gobierno

El gobierno nacional debe establecer el marco legal y administrativo a nivel nacional para las distintas fases de limpieza:

1. Identificación y evaluación inicial del sitio, caracterización del sitio;
2. Toma de decisiones acerca de la remediación, diseño y operación de esta;
3. Determinación de que las estas actividades

se finalicen, seguimiento posterior a los trabajos (monitoreo), y remoción del inventario nacional;

4. Asegurar diversos mecanismos de financiamiento para que las partes se responsabilicen por pagar las actividades de la limpieza;
5. Transparentar los procesos (incluso establecer políticas públicas acerca de las acciones relacionadas a los temas de petróleo, sustancias químicas, radiológicas y biológicas al medio ambiente;
6. Requerir avances en los sitios de remediación;
7. Coordinar a las partes interesadas e involucrar a los ciudadanos y gobiernos estatales;
8. Asegurar que se cumplan las leyes ambientales y de salud humana; y
9. Brindar el apoyo técnico y científico necesario para la reutilización del sitio.



El rol del contaminador

El gobierno le pide a la empresa o persona(s) responsables por la contaminación que paguen estudios y/o que lleven a cabo actividades de remediación. Estas tienen que estar bajo la vigilancia y supervisión del gobierno federal pero principalmente, bajo un esquema de co-participación para asegurar que las leyes del país y derechos humanos de los ciudadanos se respeten. En casos en los que se nieguen a participar, el gobierno debe remediar el sitio y demandará a la parte o partes responsables para recuperar los gastos realizados.

52 SEMARNAT. 2021. Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados 2021-2024.

53 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/387622/Programa_Nacional_Remediacion_Sitios_Contaminados.pdf



El rol del ciudadano

Los ciudadanos juegan un papel importante y deben ser informados e integrados en todos los aspectos de remediación planificados y en ejecución. Mas allá de escuchar y abordar las inquietudes, la Sociedad Civil puede participar en lo siguiente:

1. Educar a las comunidades vulnerables;
2. Mantener una vigilancia adicional para asegurar avances y cumplimientos;
3. Participar en actividades voluntarias especialmente durante monitoreo de actividades y la planeación de usos potenciales de los sitios y procesos de restauración. Hasta donde sea posible, las actividades de remediación de las áreas contaminadas deben ser un estímulo que brinde beneficios a los residentes.



El rol de la academia, industrias y especialistas que trabajan en la remediación

En su evaluación de la contaminación por hidrocarburos en Ogoniland, Nigeria, el *Programa para el Medioambiente de la ONU*⁵⁴ recomendó fortalecer estrechamente las capacidades locales, a fin de participar en las actividades de remediación a largo plazo.

En México, se reconoce que el sector académico y especializado en estos temas existe y tiene cierta capacidad en el tema de remediación de hidrocarburos. Sin embargo, es importante que pueda aprovechar los recursos económicos para desarrollar mayores capacidades en materia tecnológica a partir de investigación académica independiente de PEMEX. Es importante también, crear capacitación y oportunidades de certificación

especializada para profesionales que trabajan en esta disciplina. Estos profesionales deben ser invitados para participar como mediadores en evaluaciones de planes y trabajos de remediación. Por supuesto que uno de los objetivos fundamentales es apoyar a estudiantes de post grado para asegurar el desarrollo nacional de este sector.

Contaminantes petroleros que preocupan

Fuentes y focos de importancia

Sin duda, la exploración, extracción, y el uso del petróleo tiene una gama importante de impactos ambientales. Cada eslabón de la cadena de valor del sector contribuye en el proceso de contaminación de hidrocarburos, metales pesados, entre otros (Figuras 11 y 12). Muchos de ellos no son fácilmente visibles, porque no se cuenta con suficiente supervisión de las entidades de gobierno encargadas de los temas ambientales. Tampoco hay capacidad gubernamental para contar con especialistas en actividades mar adentro o entorno a las instalaciones. Otro tipo de impactos se presentan por falta de manejo adecuado de materiales que parecen inocuos, como lodo y agua, pero que en realidad contienen contaminantes que, por su gran volumen pueden generar un impacto importante y causar grandes daños.

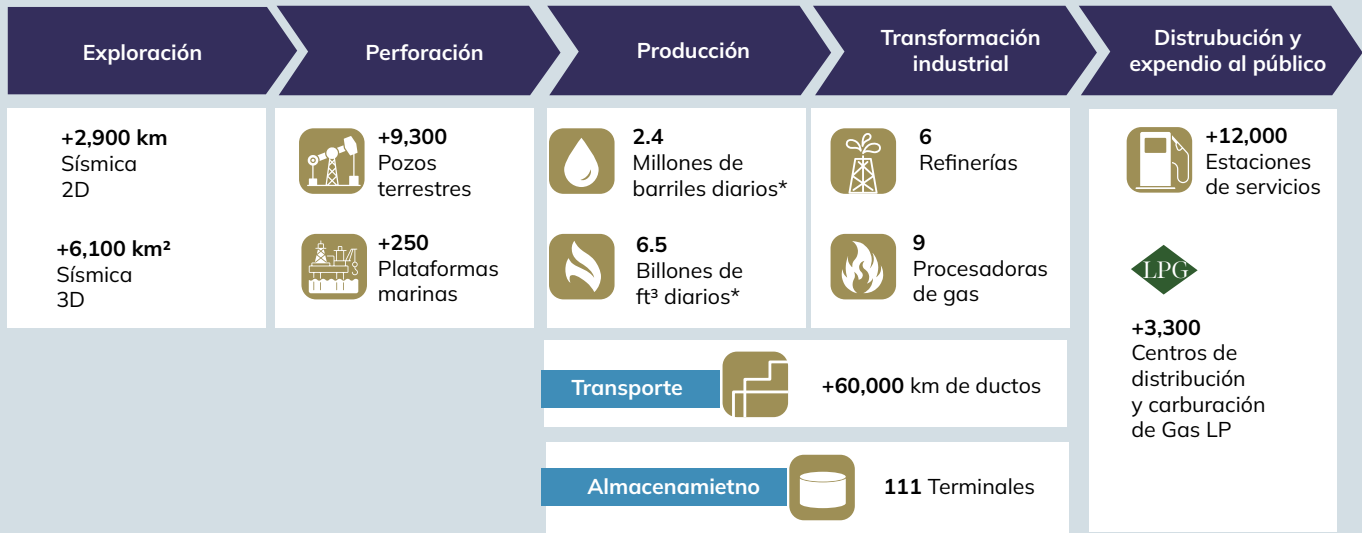
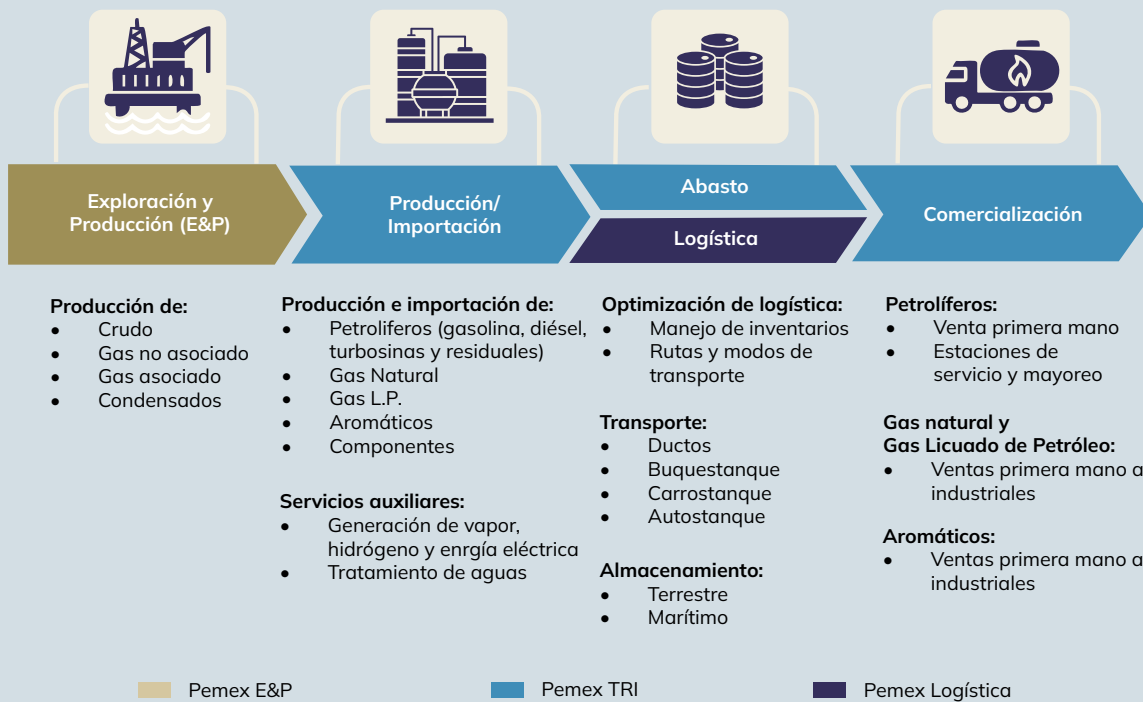


Figura 11. Cadena de valor del sector hidrocarburos. Fuente: SEMARNAT⁵⁵



www.pemex.com/procura

2016 D.R. Petróleos Mexicanos. Todos los derechos reservados.

Figura 12. . Cadena de valor de PEMEX. Fuente: SEMARNAT⁵⁶

55 Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, Primera edición, mayo 2020
 56 Ibid.

La tabla 6 presenta información acerca de diversas fuentes de materiales o compuestos que contienen contaminantes. Las fuentes son los puntos de origen de un contaminante. Por ejemplo, los pozos, ductos, e instalaciones que liberan el material contaminado al medio ambiente vía fugas o derrames. Pero también pueden ser depósitos de confinamiento temporal o final de algún residuo generado durante un proceso industrial o vinculado a las condiciones de intemperización o lixiviación por la presencia de agua. También otro ejemplo son las antiguas presas construidas con arena y que han representado grandes pasivos ambientales en México. Estas excavaciones donde hasta los años 80 se vertieron recortes, lodos de perforación, suelos y materiales impregnados con hidrocarburos, y a veces agua congénita. Durante muchos años las presas han lixiviado contaminantes al suelo, subsuelo, y aguas superficiales y subterráneas.

Una vez que los contaminantes se encuentran en el entorno, los contaminantes pueden acumularse en algún medio dependiendo de las características del material, las condiciones físicas y químicas del ambiente, y la geografía, entre otros. En algunos casos, esta acumulación, o foco de contaminación pudiera sugerir que ha desaparecido. En otros casos, puede disminuir la afectación al ambiente en general, pero también contaminar vía otras rutas. Los metales pesados son un buen ejemplo; ya que entran al agua superficial y se depositan directamente en el sedimento. En éste se afecta a la biota que forma base de la cadena trófica o bien se bioacumula en los peces.

Migración y destino

El crudo derramado no penetra inicialmente hacia el subsuelo porque es altamente viscoso. Se separa en tres estados: volátil, disuelta, sólido en proporciones según el tipo. Existen 3 tipos de crudo, pesado, medio, y ligero. En México predomina el crudo pesado y amargo (alto porcentaje de azufre); el ligero es escaso.

La parte volátil es la fracción ligera, también denominada Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCS, por sus siglas en inglés, en este caso BTEX) que se foto-oxida y volatiliza cuando es expuesto al aire, poco después de haberse presentado un derrame a través del espacio poroso del suelo. La fase disuelta (BTEX y naftaleno) es soluble y se difunde en solución en el suelo. La fracción sólida es más estable, ya que se adsorbe al suelo (incluyen los HAPs y alifáticos). Los productos derivados del crudo que salen de las refinerías (combustibles) usualmente son fracciones volátiles y solubles. Cuando hay presencia de agua, el crudo se separa. La fracción que flota en el agua, se volatiliza mientras el crudo pesado se hunde al fondo del cuerpo de agua, donde por acción de las corrientes ésta se puede mover en un tiempo determinado. La situación más compleja en el proceso de limpieza es el crudo que penetra a un cuerpo de agua o al agua subterránea.

El agua congénita es un producto de desecho del procesamiento del crudo. Todos los yacimientos de petróleo tienen crudo mezclado con agua antigua geológica; la cantidad o porcentaje de agua varía. En México, el porcentaje de agua es de aproximadamente 17%, pero aumenta cuando el yacimiento se empieza a agotar. Antes de los años 80, esta agua altamente salada y caliente fue vertida a presas, sobre suelo, o en aguas superficiales. Hoy en día, se requiere algún tratamiento y reinyección de ésta a los yacimientos agotados. En algunos casos si tuviera características fisicoquímicas adecuadas pudiera ser reutilizada. Para proteger los acuíferos, se requieren pozos de monitoreo y bitácoras de presión para detectar las fugas subterráneas que ocurren especialmente en pozos viejos. Cuando se presentan derrames en los ductos, esta agua penetra al suelo rápidamente, entrando por el agua superficial debido a la alta densidad. El suelo contaminado con la alta concentración de sales pierde sus características productivas y es un gran reto poder restaurar.⁵⁷

Los lodos de recortes y de perforación representan una cantidad de residuo enorme dentro de las actividades de exploración de hidrocarburos y, por ende, manejarlo adecuadamente significa un alto costo. La gran cantidad de presas viejas en los campos petroleros son una prueba tangible del manejo inadecuado del suelo mezclado con contaminantes altamente riesgosos. Se ha podido corroborar que hace muchos años, una práctica nociva para el medio ambiente fue enterrar o depositar los residuos en aguas superficiales. En muchos casos, las presas eran abandonadas sin tratamiento alguno; por efecto de las lluvias y/o del manto freático, los contaminantes migraban a otros suelos y/o cuerpos de agua. Estos lodos y recortes son residuos de manejo especial (RME); por lo tanto, las autoridades responsables de su regulación requieren que estos tengan una disposición final adecuada para proteger el ambiente. Adicionalmente, la industria petrolera produce también enormes cantidades de otros residuos

sólidos, tanto peligrosos como de manejo especial. Sin embargo, según SEMARNAT, no existe información precisa al respecto.⁵⁸ A finales de 2021, PEMEX reporta producción de 76,000 toneladas de residuos peligrosos, un incremento de 35% sobre 2020 y otras 71,000 toneladas de residuos de manejo especial la mayoría recortes de perforación que también fue un incremento a casi el doble de 2020.⁵⁹ Hoy en día, una práctica común en la industria es inyectar los recortes de perforación en pozos agotados, utilizando una variedad de tecnologías. PEMEX contrata esto con prestadores de servicios para manejar sus RME; sin embargo, la disposición final es responsabilidad de cada estado y depende de la aplicación de las leyes locales.^{60,61} Cabe mencionar que los recortes y los residuos sólidos (borras y sedimentos de tanques) que no son tratados adecuadamente y que se inyectan a pozos agotados o enterrados, pudieran lixiviar contaminantes al estar en contacto con el agua.

Tabla 6. Fuentes de materiales o compuestos que contienen contaminantes asociados con la actividad petrolera.

FUENTE	MATERIAL O COMPUESTO	PRINCIPALES CONTAMINANTES DE PREOCUPACIÓN	NORMA					
			SUELO	SUB SUELO	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUB TERRÁNEA	ACUIFERO	AIRE
Pozos, ductos, instalaciones	Crudo	HAPs, HTP,	●	●	●	●		●
Pozo ⁶² , deposito para residuales	Lodos de recortes	HAPs, HTP, bario, plomo, cadmio, cromo, níquel, cobre, BTEX	●	●				
Pozo, deposito para residuales	Lodos de perforación ⁶³	Sales (cloruros), emulsificantes, fosfato, grasas, parafinas, bario/barita, asbesto	●	●				
Pozos, ductos, instalaciones ⁶⁴	Agua congénita		●	●	●	●	●	

58 Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, Primera edición, mayo 2020
 59 Informe de Sustentabilidad 2021. PEMEX.
 60 Méndez Villegaz et al. 2013. Manejo integral de los recortes de perforación de la industria petrolera en Tabasco. ISSN 2007-9990.
 61 Alarcón Sierra, 2014. Criterios Básicos para Normar los Recortes de Perforación Generados por la Industria Petrolera en el Estado de Veracruz. Trabajo Recepcional, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
 62 Incluye: exploratorios, delimitadores, productores, inyectoros.
 63 Rubí Villegas, R. 2017. La Química de los Lodos de Perforación Ejemplos y Aplicaciones en Ciencias de la Tierra. Material Didáctico. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
 64 Incluyen: estaciones de recolección, compresión y baterías de separación; estaciones de bombeo, complejos procesadores de hidrocarburos, etc.

FUENTE	MATERIAL O COMPUESTO	PRINCIPALES CONTAMINANTES DE PREOCUPACIÓN	NORMA					
			SUELO	SUB SUELO	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUB TERRÁNEA	ACUIFERO	AIRE
Ductos, tanques, instalaciones	Petroquímicos, condensados y derivados de crudo		○	○	○	○		○
Mechero	gases		○					○
Buque tanques, tanques de almacenamiento, ductos	Borras y fondos de tanque, sedimentos		○	○	○			

Enfoques para remediación

Las prácticas inadecuadas que se han tenido y desarrollado por décadas por la actividad petrolera, ha provocado una gran cantidad de sitios afectados. En ellos se encuentran mezclas complejas de contaminantes en diferentes tipos de hábitats. Enfrentar y/o contrarrestar esta situación en los estados costeros del Golfo de México, requiere una remediación a nivel de todo el paisaje y no punto por punto. La alta precipitación, el nivel freático superficial y la extensa red hidrológica del sureste del país, han sido algunos de los factores que han provocado una mayor diseminación de los contaminantes. En muchos casos, las lagunas costeras –al final de la cuenca hidrológica de esta región– han tenido un doble impacto. Por un lado, han sido receptores de la contaminación de instalaciones terrestres; por otro lado, han sido afectados por derrames petroleros de las plataformas ubicadas en el Golfo de México. El sistema interconectado de agua-subsuelo también ha servido para almacenar, movilizar y ocultar los contaminantes. Por lo tanto, se requiere un análisis espacial de dicha contaminación para definir la estrategia y los métodos para una remediación íntegra. En

ésta, en primer término, será la atención de las fuentes (tapado y remoción de los focos y puntos de acceso). Y segundo, se priorizarán las áreas contaminadas en base al nivel de riesgo a los humanos y biota.

Tecnologías de remediación disponibles para campos petrolíferos

Los principales contaminantes de la industria petrolera son metales e hidrocarburos. Estos no pueden desaparecer; por el contrario, hay que cambiar su estado o forma para que sean inocuos. Asimismo, hay que aislarlos para que los receptores ambientales o biológicos no tengan contacto con ellos. En viejos sitios contaminados por hidrocarburos y no remediados (pasivos), puede haber existido un proceso de atenuación de estos. En este caso, estos son procesos naturales lentos, como son el lavado por lluvia, descomposición por microorganismos y exposición a radiación solar. Dichos procesos cambian el petróleo a un estado no tóxico, pero aun su presencia física puede afectar las condiciones productivas del suelo. Hay que recordar que la remediación cambia, a veces drásticamente, el hábitat.

Especialmente en áreas donde la ecología es sensible o requiere una alta protección. Para ello es necesario evaluar el riesgo del contaminante y las consecuencias del uso de alguna tecnología de restauración.

Las tecnologías de remediación biológica o fisicoquímica se pueden clasificar en tres grandes categorías: destrucción o modificación para alterar la estructura química del contaminante; extracción o separación de los contaminantes del medio contaminado; y aislamiento o inmovilización. La realidad es que generalmente se usa una combinación de tecnologías dada la mezcla de contaminantes y medios en que se encuentren, durante las fases de caracterización e ingeniería. Costo, tiempo y uso del área post-remediación también son consideraciones en la selección de la tecnología. AL final de este documento, se encontrará un listado importante con ventajas y desventajas de cada tecnología. Se ha desarrollado más tecnología para remediación del suelo. En el caso de los sedimentos, si se extraen estos el agua y se secan, se puede descontaminar con las tecnologías que se utilizan para el suelo. La remediación de aguas contaminadas superficiales o subterráneas es más complicada y costosa. Las técnicas rutinarias son bombear el agua a un recipiente y separar el hidrocarburo o metal del agua con tratamiento secundario para secuestrar o quitarle la toxicidad al contaminante, usando métodos similares a los suelos. Otros procesos incluyen oxidación avanzada antes o después del tratamiento convencional (descrito abajo). Existen también tecnologías novedosas que se han aplicado en pequeña escala o en situaciones especiales (no descritas aquí). Se presenta un resumen de técnicas bajo las dos categorías. Se puede clasificar las tecnologías de remediación entre dos principales categorías: biológicas y fisicoquímicas.

Biológicas

La biorremediación está basada en la aplicación de microorganismos para romper las cadenas hidrocarbonadas para producir compuestos menos tóxicos o secuestrar los metales en plantas. Ésta puede ser una opción a menor costo, más amigable al ambiente; así como también da oportunidad a la participación ciudadana de no especialistas/profesionales. Sin embargo, es importante reconocer que la disminución de la toxicidad a partir de un proceso de biorremediación es a muy largo plazo. En muchos casos, una mejor estrategia es combinar dicha biorremediación con tratamiento fisicoquímico. Han existido problemas en lograr niveles de descontaminación requerido aplicando métodos de biorremediación en áreas tropicales de México porque las empresas contratadas usaban experiencia de otras partes, usualmente países templados, sin desarrollar algo apropiado a las condiciones locales: alta materia orgánica, hidrocarburos muy altos, clima tropical. Esta situación está por cambiar mientras México desarrolla expertise a través de investigaciones en sus propios campos.

Landfarming o biotratamiento sobre la capa superficial del suelo es comúnmente usado en áreas terrestres contaminadas con petróleo (Fig. 13). Desafortunadamente, en muchos casos no tiene éxito por no haber considerado adecuadamente las condiciones locales. El proceso se realiza mezclando fertilizantes con suelo contaminado y limpio para ayudar a que la microbiota metabolice los hidrocarburos. Este proceso puede tener buenos resultados por la presencia del aire. El composteo es otra modalidad parecida a *landfarming* y tiene la ventaja de ser más controlado (Fig. 14). El composteo usa biopilas que son mezcladas periódicamente y las cuales pueden estar protegidas de la lluvia. Para ello se puede aplicar aeración mecánica y mezclas de

microorganismos seleccionados para descomponer el hidrocarburo. Éste es un método comúnmente utilizado en México.

Los biorreactores usan los mismos principios, pero el suelo o lodo está suspendido en agua (Fig. 15).

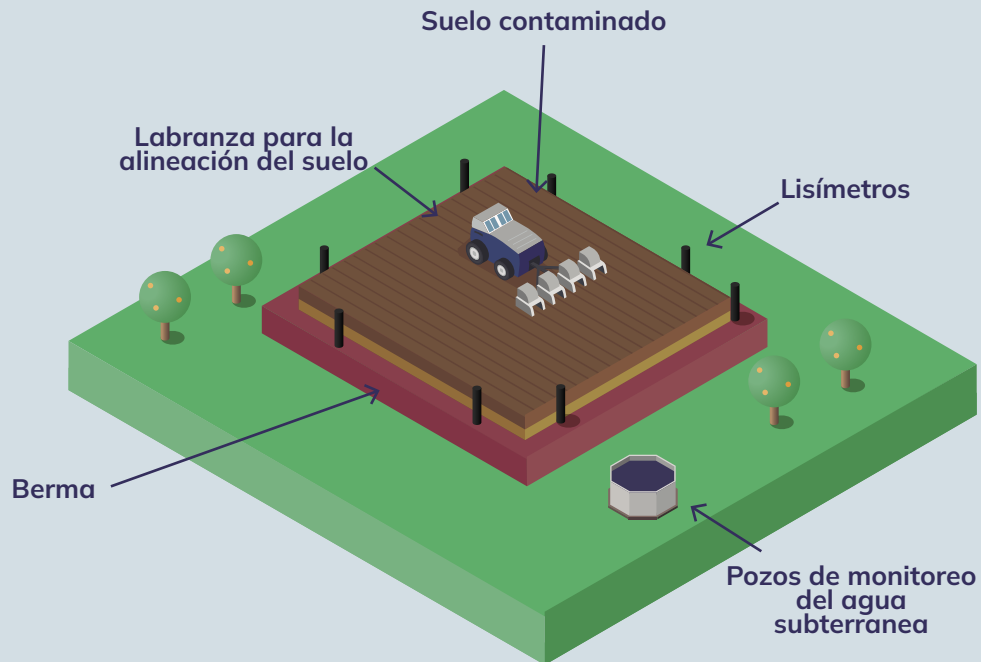


Figura 13. Ejemplo landfarming. Fuente: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/18/4664>

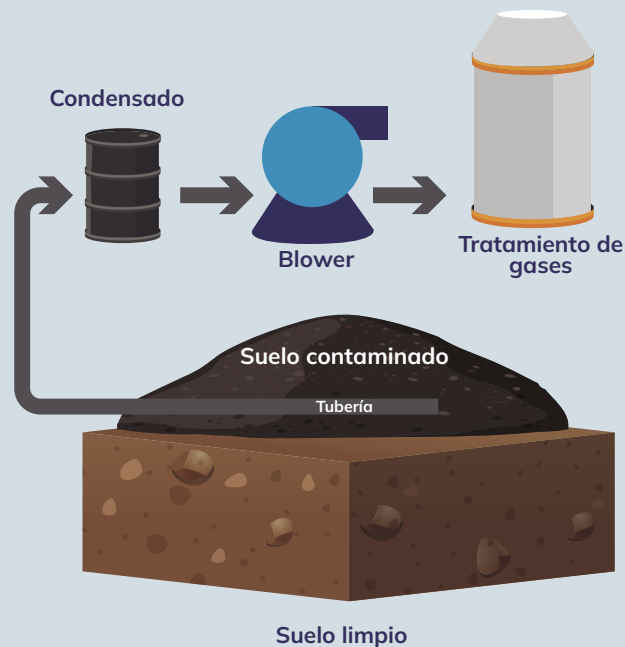


Figura 14. Ejemplo biopila biocompuesta. Fuente: DOI: 10.5772/intechopen.70109

También, se puede aplicar para la remediación del agua contaminada con hidrocarburos. Requiere el uso de surfactantes para ayudar a la separación de la fase sólida del petróleo y proveer un área superficial para que los microorganismos tengan acceso al hidrocarburo. Es importante señalar que los surfactantes y los productos finales del proceso, por su alta concentración, pueden causar toxicidad aguda si son vertidos directamente al agua superficial o al suelo.

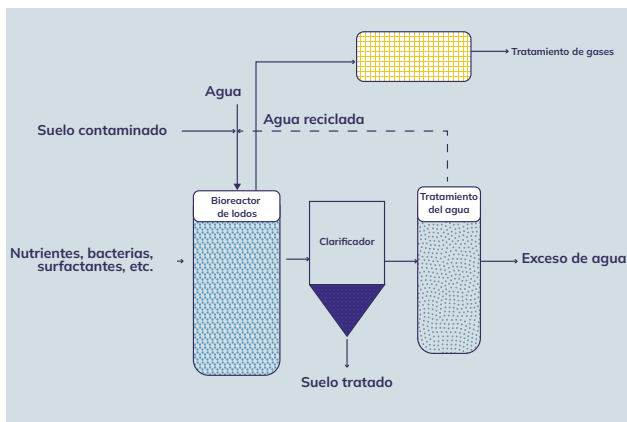


Figura 15. Biorreactor. Fuente: <https://microbialcellfactories.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2859-7-5>

La fitorremediación es el único proceso biológico que se puede usar para disminuir las concentraciones de metales en suelo y agua superficial o subterránea (Fig. 16). En este proceso, las plantas absorben y bioacumulan los metales. Se usan plantas seleccionadas por su resistencia a la toxicidad de metales y en ciertos casos sus tendencias a secuestrar un tipo de metal sobre otro. La aplicación de este método requiere consideraciones de posible toxicidad a la biota, la cual puede ser utilizada por la planta en la introducción de plantas exóticas al área o a la región. Cuando ésta se usa para remediar cuerpos de agua, es necesario remover la biomasa de las plantas para evitar el reciclaje in situ de los metales. Esta biomasa pueda ser incinerada

y la ceniza se puede enterrar en un depósito confinado. La fitorremediación también es aplicable en ciertos casos a suelos y agua subterránea contaminada con hidrocarburos.⁶⁵ En un estudio piloto en Papantla aplicaron la técnica de fitorremediación en conjunto con otros bioremedios a suelos contaminados por mucho tiempo con petróleo.⁶⁶ Se usaron pastos y lombrices de tierra ya adaptadas a las condiciones locales y lograron disminuir la concentración de hidrocarburo de 1200 mg/kg a 300 mg/kg en 110 días.

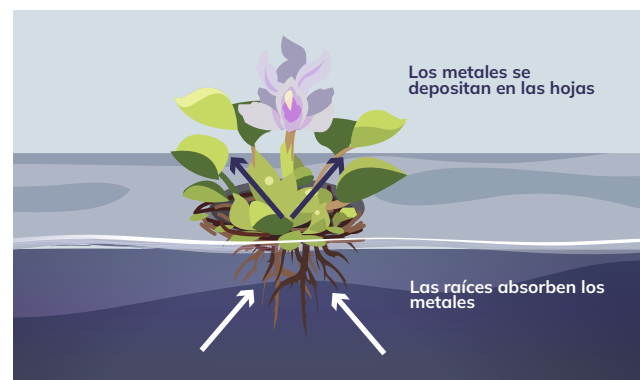


Figura 16. Fitorremediación. Fuente: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106384>

Fisicoquímicas

Las tecnologías fisicoquímicas que se usan en campos petroleros y sitios contaminados con hidrocarburos incluyen: lavado de suelo, estabilización-solidificación, extracción de vapores del suelo/bioventeo, electrocinética, y térmicas.

Es común lavar el suelo que tiene contaminantes como un paso previo a otro tratamiento, el cual concentra la contaminación y así reduce el volumen del material a descontaminar (Fig. 17). Para ello se usa una solución de surfactantes que ayudan a separar el hidrocarburo del sólido. Se obtiene una parte de suelo lavado (sólido) y otra líquida que es la solución que tiene el contaminante y que pasa a otra fase de tratamiento o disposición final.

65 <https://doi.org/10.1201/9781003075745>

66 Barois, I., S.M. Contreras-Ramos, B. Hernández-Castellanos, M. de los Santos, F. Martínez y D. R. García. 2018. El suelo y el petróleo: Estudio de caso de biorremediación en pasivo ambiental de Papantla, México. Instituto de Ecología A.C. 30pp

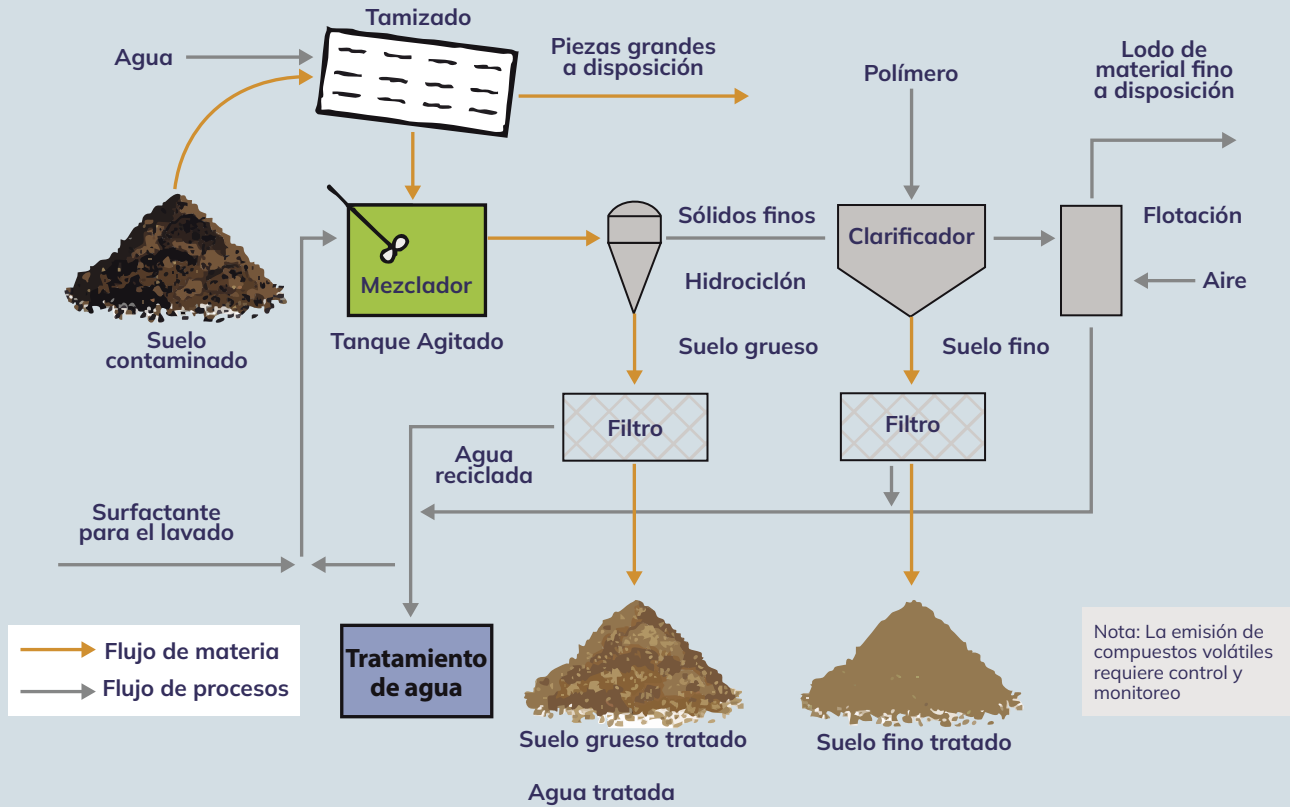


Figura 17. Diagrama de bloques del proceso de lavado de suelos con petróleo mediante uso de surfactantes. Fuente: UNDP ETI⁶⁷

Estabilización-solidificación (E-S) es un proceso para inmovilizar los contaminantes, que generalmente son metales, pero también la fracción pesada del hidrocarburo. Ésta se puede aplicar después de otro tratamiento que concentra el contaminante. En general, el E-S se realiza a través de diversos procesos químicos que cambian o estabilizan la forma del metal, la cual es seguida con cierta solidificación en una matriz de cemento para evitar su migración al ambiente.

Extracción de vapores y/o bioventeo se utiliza para los vapores orgánicos volátiles y semivolátiles (COVs, COSVs) del suelo. Se perforan pozos para dejar salir el vapor de

una manera natural o por inyectar aire que induce la degradación a través del microbiota de suelo. Los vapores son secuestrados para después poderlos incinerar.

Remediación electrocinética se aplica al suelo contaminado con metales o hidrocarburos (Fig. 18). Se usa para separar el contaminante del suelo, generalmente in situ y en pequeña escala. Consiste en introducir ánodos y cátodos en el suelo a los cuales se les aplica electricidad para migrar a los contaminantes cargados a su polo opuesto.

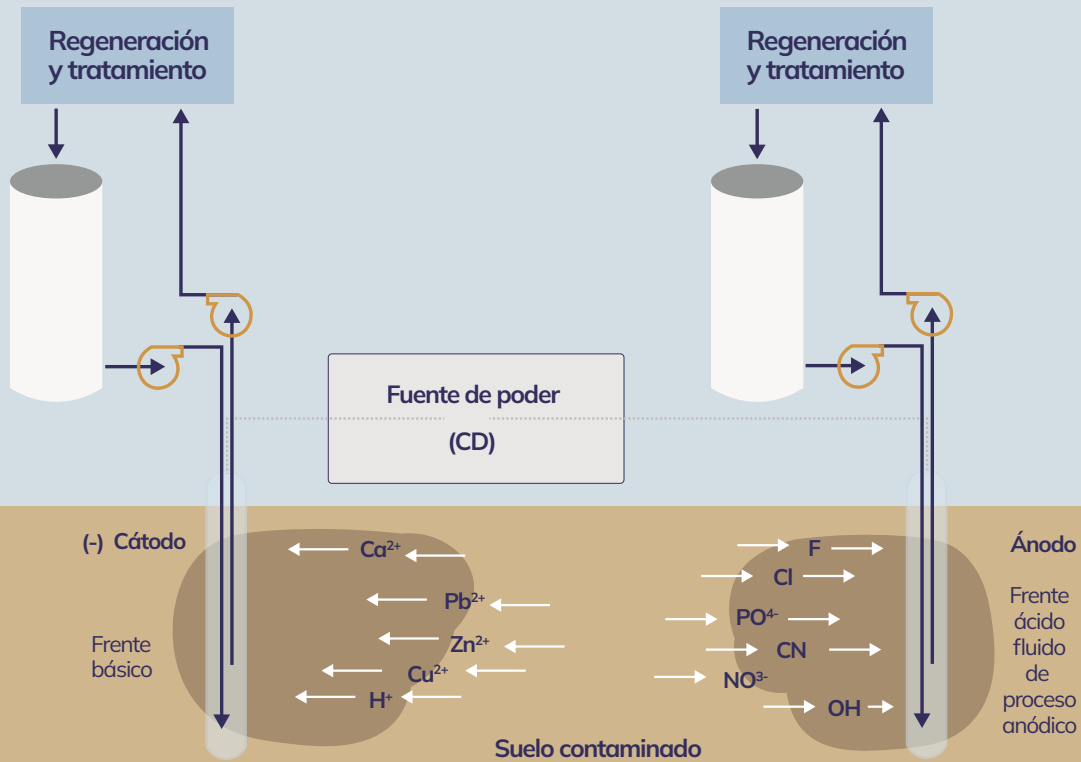


Figura 18. Esquema de la electroremediación en suelos. Fuente: UNDP ETI⁶⁸

Existen diferentes opciones a través de la aplicación térmica (Fig. 19). Por ejemplo, la incineración se usa para transformar la mayoría de los hidrocarburos a dióxido de carbono y agua. Sin embargo, menos de 1% restante de esa incineración puede ser altamente tóxica y requiere una disposición final adecuada para evitar su entrada al ambiente. Ésta puede ser aplicable en ciertas circunstancias, pero por lo general se considera como tecnología no sostenible por la energía que requiere y la producción de dióxido de carbono, el cual es un gas de efecto invernadero. La desorción térmica de baja o alta temperatura es otra tecnología que separa, no destruye, los componentes volátiles de hidrocarburos en el suelo calentado.

El coprocesamiento de suelo contaminado con hidrocarburos en hornos que se utiliza para producir cemento puede ser otra opción. La ventaja de esto, son las cenizas y metales en el suelo contaminado, los cuales no producen desechos sólidos, sino forman parte del cemento.



© pustosh



Figura 19. Diagrama de bloques del proceso de desorción térmica de suelos con hidrocarburos. Fuente: UNDP ETI⁶⁹

Ejemplos de remediación pasada en México

Bajo el PNRSC se realizó la gestión de unos pocos de los pasivos ambientales de mayores dimensiones en el país y considerados prioritarios. De los sitios contaminados por la actividad petrolera, son el Sitio de Texistepec y la Ex Refinería 18 de Marzo.

Texistepec, Ver.

El pasivo ambiental (cubriendo 1,673 ha) fue producto de la extracción de azufre de los años 70 a los 90 por la Cía CEDI (Compañía Explotadora del Istmo). El azufre estaba asociado con hidrocarburos; por lo tanto, al recuperarlo como un residuo se contaminó

con ellos. Esta contaminación se produjo en los estanques de almacenamiento por la presencia de un residuo líquido de tipo ácido. El proceso de remediación para más de 100,000 m³ de suelo y sedimentos se hizo a partir de una combinación fisicoquímica fuera del sitio, la cual consistió en la aplicación de cal hidratada seguida por la adición de “cachaza” (el desecho del procesamiento de la caña de azúcar) y ácidos húmicos. Esto fue mejor que los procesos de bioestimulación y bioaumentación, en el cual sólo se requiere una mezcla inicial de productos químicos y orgánicos sin aeración diaria. Este está basado en procesos de humificación biológica favorecidos por un medio ambiente tropical húmedo o semitropical. Se estima que el costo es cerca del 60% de lo que landfarming costaría en la región sureste del Golfo de México.⁷⁰ Las actividades de remediación iniciaron en el

69 <https://www.undp.org/es/peru/publications/estudio-tecnico-independiente-del-lote-8>

70 Adams, R.H. and Guzmán-Osorio, F.J. 2008. Evaluation of land farming and chemo-biological stabilization for treatment of heavily contaminated sediments in a tropical environment. *International Journal of Environmental Science & Technology* 5, 169-178.

2002 con la remoción del suelo y sedimento contaminado a un área de almacenamiento temporal, donde después sería tratado; sin embargo, no está definido si el material almacenado fue descontaminado.⁷¹ Reportes de periódicos en 2022 sugieren que la mayoría del área sigue contaminada, que el trabajo no ha sido terminado y que los hidrocarburos se lixivian del material almacenado.^{72 73 74} La única lección importante de esta remediación fue que el involucramiento a tiempo y de manera continua de las autoridades regulatorias y de la comunidad destrabaron algunos de los conflictos sociales, ya que se les dio información temprana y empleo. El costo estimado de la remediación hasta el año 2010 fue de mil millones de pesos.⁷⁵

Remediación de la Ex Refinería 18 de Marzo, en Miguel Hidalgo, Distrito Federal (hoy Ciudad de México)⁷⁶

La refinería se encontraba en un terreno de 174 ha y fue construida -en su momento- a las afueras de Ciudad de México. Ésta, la cual operó de 1933 a 1991, era abastecida por un oleoducto de 500 km que venía desde Tampico, Tamaulipas. El pasivo ambiental evaluado, estaba formado de suelos contaminados con hidrocarburos, BTEX, el cual era un producto en fase libre con lodos de plomo (específicamente tetraetilo de plomo; utilizado por muchos años como un aditivo de la gasolina). Los contaminantes fueron detectados a una profundidad de 3.5 m e incluso llegaron a afectar el agua subterránea. La caracterización se hizo por 15 años, involucrando docenas de universidades. El volumen de suelo y agua contaminada se estimó en tres millones de

metros cúbicos. Las técnicas de remediación aplicadas comprendieron lo siguiente: un proceso de bioremediación en biopilas (HTP fracciones media y pesada), extracción de vapores y bioventeo (fracciones ligera y media), tratamiento del agua subterránea en plantas dentro de un proceso biológico, inyección de aire, y disposición de residuos peligrosos fuera del sitio en un área confinada. Para detener la migración de los contaminantes se construyó una barrera subterránea de 1.1 km de longitud y 8.5 m de profundidad.

En cuatro años remediaron cerca de 1.33 millones de m³ de suelo a un costo de 100 millones de dólares.⁷⁷ Disminuyó la masa de hidrocarburos a niveles aceptables por el gobierno, pero, como en todos los casos de remediación, permanece una cantidad remanente de contaminantes que hay que remediar. Esto pudiera costar 100 millones de dólares adicionales.^{78 79} PEMEX donó 55 ha de los terrenos remediados al gobierno y en estos se fundó el Parque Bicentenario. Con esto se comprobó que es posible remediar un sitio altamente contaminado y después, utilizarlo de manera productiva y con beneficios sociales.

Escenarios emblemáticos de contaminación por la industria petrolera para remediar en México: más allá de derrames de crudo en suelos

La explotación y uso del petróleo desde el momento de la perforación de un pozo hasta la fabricación de productos derivados del petróleo genera muchas corrientes de desechos que son potencialmente dañinas para la vida en el

71 Schmidt op.cit.

72 <https://imagedelgolfo.mx/estado/reinician-en-texistepec-remediacion-de-la-laguna-agua-de-minas/50213489>

73 <https://www.palabranahj.org/archive/pescadores-contra-pemex>

74 <http://calornoticias.mx/corrupcion-ambiental-en-texistepec>

75 https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2010i/Grupos/Desarrollo_Economico/2010_0674_a.pdf

76 Schmidt op.cit.

77 https://www.senado.gob.mx/65/gaceta_del_senado/documento/10327

78 García Villanueva y Fernández-Villagómez. 2014. Determinación del perfil de benceno y de hidrocarburos de fracción ligera en el suelo del pasivo ambiental de la ex-refinería "18 de marzo" Ciudad de México. Rev. Int. Contam. Ambie. 30 (20):201-211.

79 https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25380w/M11TA112B_C4.pdf

planeta. Debido a que los costos son tan altos para evitar la contaminación ambiental, las empresas aceptan cualquier riesgo ambiental que puedan afrontar para aumentar las ganancias. Es especialmente ventajoso para las compañías petroleras que el público sepa lo menos posible sobre estos flujos de desechos. Además, los accidentes y las malas prácticas de la industria que dan como resultado una contaminación ambiental que está oculta a la vista es lo último en ser atendido y, a menudo, es lo más insidioso, ya que se mueve bajo tierra o por el aire dispersándose desde su punto de origen. A continuación, se presentan algunos ejemplos de problemas ambientales conocidos relacionados con la industria petrolera en México, pero hay demasiados para incluir una lista exhaustiva aquí.

Áreas inundables, nivel freático alto⁸⁰

El viejo Activo de Producción Cinco Presidentes está ubicado en Agua Dulce, Veracruz y tiene actividades en Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco. Este activo es responsable de varios derrames. Esto en parte debido a la falta de mantenimiento, y corrosión de los ductos provocada por las condiciones ambientales -inundación- en la mayor parte del año. Diversos estudios han detectado un alto impacto ambiental que afecta el suelo, el agua superficial y subterránea -el nivel freático se encuentra entre 0.8-1m- la biota y las actividades productivas. La remediación de suelos y agua contaminada enfrenta un enorme reto. Esto principalmente a las concentraciones

de hidrocarburos, de materia orgánica o arcilla, gran precipitación y residuos del petróleo intemperizado.⁸¹ La CIMADES (Comisión Interinstitucional para el Medio Ambiente y el Desarrollo Social de Tabasco) estimó una superficie contaminada de hidrocarburos de 92 ha. El crudo producido en este activo es tipo ceroso y ligero o istmo. Se han desarrollado varios estudios de investigación con algunas alternativas de remediación, las cuales incluyen fitorremediación,⁸² y *landfarming*.⁸³

Contaminación con agua congénita

En el Complejo Procesador de Gas La Venta (CPGLV), municipio de Huimanguillo, Tabasco el agua salina extraída de los procesos de deshidratación de crudo era descargada en los pantanos, provocando una alta salinización de suelos y contaminación con hidrocarburos asociados al agua. Aun cuando el agua congénita fue tratada o inyectada en pozos agotados, los derrames durante su transporte⁸⁴ han afectado el área de pastizales y los cuerpos de agua del campo Samaria y de los Municipios de Macuspana y Paraíso.^{85 86} La alta concentración de sales, metales pesados e hidrocarburos pueden tener efectos tóxicos a largo plazo.⁸⁷ El tratamiento con hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) puede facilitar la remediación; sin embargo, un factor clave es ajustar dicho tratamiento a la composición y textura del suelo, así como a las condiciones climáticas como la temperatura y precipitación.⁸⁸

Suelos y agua subterránea contaminados con

- 80 Leyva Cardoso, I. 2006. Comparación de Técnicas de Saneamiento en un Suelo Contaminado con Hidrocarburos del Petróleo de Tabasco. Tesis. Maestra en Ingeniería. Instituto de Ingeniería, UNAM. México.
- 81 Álvarez-Jiménez, M.F., et al. 2019. Evaluación del suelo contaminado con hidrocarburo e intemperizado en Cárdenas, Tabasco. *J. of Basic Sciences* 5:27-38.
- 82 Zavala-Cruz, J. et al. 2005. Derrames de petróleo en suelos y adaptación de pastos tropicales en el activo cinco presidentes, Tabasco, México. *Terra Latinoamericana* 23:293-302.
- 83 Leyva Cardoso, op.cit.
- 84 <https://agua.org.mx/reporta-pemex-derrame-de-agua-congenita-en-veracruz/>
- 85 Madrigal-Díaz, S. del C., Morales-Bautista, C.M., y de la Garza-Rodríguez, I.M. 2016. Evaluación de los cambios físicos y químicos de dos suelos contaminados con agua congénita en el estado de Tabasco. *JEEOS*.
- 86 <https://cronicadelpoder.com/2017/03/30/fuga-de-aguas-congenitas-dana-a-papantecos/>
- 87 Morales-Bautista, C.M., et al. 2016. Evaluación del tratamiento del intercambio catiónico en dos suelos aluviales contaminados con aguas congénitas. *Interciencia* 41:696-702.
- 88 Gómez-Mellado, A.Y. et al. 2020. Evaluation of two remediation techniques applied to a site impacted by petroleum production waters. *Terra Latinoamericana* 38:77-89.

sulfuro de hidrógeno

De acuerdo a la literatura, las áreas cercanas a las instalaciones que procesan gas están fuertemente contaminadas. Y es que los desfogues de los quemadores aportan contaminantes que se depositan directamente en los suelos, especialmente donde el tratamiento de ellos no es adecuado.⁸⁹ Por ello, el medio ambiente alrededor del Complejo Procesador PEMEX Gas-Macuspana es un ejemplo de suelos contaminados que han perdido su fertilidad, provocando graves pérdidas de cultivos y muerte de plantas.⁹⁰ Es importante señalar que se carece de información en términos de remediación de estos sitios.

Contaminación en puertos, lagunas, arrecifes, playas y zonas costeras⁹¹

Las descargas permanentes de hidrocarburos se presentan en todos los puertos. A pesar de ser cantidades relativamente pequeñas, la aportación continua al ambiente causa daños a la biota. El Puerto de Veracruz es un ejemplo donde la carga y descarga de hidrocarburos es constante. Los pocos estudios existentes, evidencian la presencia de hidrocarburos en sedimentos. También, hay otros ejemplos importantes de la contaminación con hidrocarburos en diversas lagunas costeras y zonas estuarinas en Tamaulipas, Veracruz, y Tabasco (Mecoacán, Carmen, Pajal y Machona,

Tab., Tamiahua, Coatzacoalcos-Minatitlan, Ver.) con un área estimada de 400 mil ha.^{92 93} Estas áreas se han contaminado por actividad petrolífera en la costa; sin embargo, hay presencia de hidrocarburos y metales por los ríos que drenan hacia el Golfo de México. Esta combinación de contaminantes hace difícil la identificación y responsabilidad de la industria que está afectando esta región.⁹⁴ Los hábitats compuestos por manglares y arrecifes afectados son difíciles de remediar.⁹⁵ En el caso de los manglares, un factor limitante es la falta de oxígeno. No obstante, hay algunos trabajos de investigación que muestran la existencia de algunas estrategias biológicas de remediación.⁹⁶

Cuenca del Río Coatzacoalcos

La Cuenca baja y el Delta del Río Coatzacoalcos cubren alrededor de 3,000 km² y es considerado el Delta más contaminado de México. Los niveles altos de contaminantes en sedimentos y biota se originan de múltiples fuentes, pero en particular desde antes de 1950, provienen de la producción petrolera, refinación e industria petroquímica.⁹⁷ Los contaminantes también entran al Río Coatzacoalcos y sus tributarios de otras industrias, como es la agricultura, ganadería y el crecimiento urbano no planeado de la cuenca.⁹⁸ Altas concentraciones de metales pesados en sedimentos han sido identificadas desde 1990.⁹⁹ Han sido publicados diversos

89 https://earthworks.org/issues/flaring_and_venting/

90 López Morales, A.L. et al. 2019. Impactos asociados a actividades petroleras en zonas aledañas al complejo procesador PEMEX gas-Macuspana. *J. Basic Sciences* 5:109-123.

91 Vivanco Santos, M.I., Castaneda-Chávez, M. del R. y Lizardi-Jiménez, M.A. 2021. Hidrocarburos contaminantes en la zona del puerto de Veracruz: principio de precaución e identificación de actores clave. En: *Dialogando lo ambiental, compartiendo experiencias. Transición para el Desarrollo Sustentable*.

92 <https://www.hoytamaulipas.net/notas/521173/Exigen-a-Pemex-remediar-danio-por-derrame-de-petroleo-en-Altamira.html>

93 Calva B., L.G., Botello, A.V., Ponce Vélez, G. 2005. Composición de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de la laguna Sontecomapan, Ver., México. *Hidrobiológica* 15:97-108.

94 Universidad Nacional Autónoma de México, 2018. Estudio sobre la protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos.

95 Narciso-Ortiz, L. et al. 2021. Cuencas y sistemas arrecifales del Golfo de México en el estado de Veracruz: contaminación por hidrocarburos y biorremediación. *BioTecnología* 25:54-70.

96 Olguín, E.J., Hernández, M.E., y Sánchez-Glaván, G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23:139-154.

97 Ruiz-Fernández, A.C. et al. 2016. Coexisting sea-based and land-based sources of contamination by PAHs in the continental shelf sediments of Coatzacoalcos River discharge area (Gulf of Mexico). *Chemosphere* 144:591-598.

98 <https://www.jornada.com.mx/2012/07/30/eco-c.html>

99 Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, A. 1998. Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos River, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60:553-561.

estudios que reportan daños genéticos en peces, lombrices de tierra y sapos.¹⁰⁰ Igualmente, la remediación de los derrames de petróleo se produce evento por evento en la cuenca¹⁰¹ y hay planes contemplados también de algunas áreas agrícolas e industriales como parte del Ordenamiento Ecológico y Territorial de Veracruz.¹⁰² Sin embargo, no existen planes de remediación del río o de los sedimentos del delta de acuerdo a una revisión de información pública. El proceso de atenuación natural de los contaminantes del petróleo y el movimiento de los sedimentos del lecho fluvial que contienen hidrocarburos y metales pesados fuera del sistema y hacia el Golfo de México, parecen ser

la solución al problema actual. No obstante, continuará la exposición y los efectos adversos en la vida acuática, las especies terrestres y aves que dependen de estos sistemas acuáticos. Un escenario de remediación en la Cuenca del Coatzacoalcos es similar a otros complejos de PEMEX, como son Dos Bocas y Ciudad del Carmen, los cuales requerirán una gran estrategia a nivel cuenca y a largo plazo.



© kokoden.iist.ru

100 Morales-Mora, M.A. 2014. Human and ecotoxicological impacts assessment from the Mexican oil industry in the Coatzacoalcos región, as revealed by the USEtox model. *Environmental Science and Pollution Research* 21:9819-9831.

101 <https://www.alcalorpolitico.com/informacion/pemex-realizara-remediacion-por-dos-meses-mas-en-el-polvorin-en-coatzacoalcos-87272.html>

102 <https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2022/09/Programa-de-Ordenamiento-Ecologico-de-la-cuenca-Baja-del-Rio-Coatzacoalcos-Veracruz.pdf>



© kokcoden.list.ru

El costo de remediar

Se ha iniciado la transición energética hacia fuentes alternativas a los hidrocarburos. Con ella se ha comenzado también a considerar el desmantelamiento de la infraestructura y saneamiento de los suelos contaminados en México. La extracción de recursos naturales estratégicos y sus industrias asociadas ha dejado una herencia histórica a la sociedad. Y es que muchos propietarios y/o comuneros han tenido que limpiar sus áreas sin que las compañías extractivas asuman la responsabilidad correspondiente. No obstante que hoy hay otras condiciones legales y sociales en el país, es importante que haya un proceso de rendición de cuentas más estricto para atender los daños y responsabilizar a las empresas, como es el caso de PEMEX. Por esta razón, es necesario que las leyes establezcan claramente los límites técnicos y los riesgos inminentes de los compuestos químicos asociados a los hidrocarburos. Esto debido a que los contaminantes tienden a migrar desde la infraestructura abandonada o por la falta de atención, y distribuirse en el ambiente contaminando un área más amplia e ingresando a las aguas superficiales y subterráneas, provocando mayor dificultad para la remediación y el alto costo de ella. Bajo estas condiciones, hay que reconocer la escala del problema, a fin de tomar las

medidas adecuadas para prevenir más daños y desarrollar estrategias para financiar la rehabilitación de las áreas dañadas.

El proceso para registrar sitios contaminados

De acuerdo con Pemex, el proceso de respuesta a derrames inicia cuando se conoce un incidente. Este se aborda mediante actividades de contención, recuperación y limpieza del sitio. De ser necesario, se caracteriza el sitio y si las concentraciones de hidrocarburos superan el Límite Máximo Permisible (LMP) establecido en la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, se llevan a cabo las actividades de remediación correspondientes. Al finalizar la remediación, se realiza un muestreo para garantizar que las concentraciones están por debajo del LMP. Finalmente, el informe de conclusiones se presenta a la autoridad competente, donde una vez aprobado, se da por concluido el evento.

SEMARNAT también mantiene un inventario de sitios contaminados y remediados (INSC). La información sobre sitios contaminados se obtiene de las solicitudes de propuestas de remediación que se entregan tanto a la DGGIMAR de la SEMARNAT, como a la UGI de ASEA. La información se entrega de manera independiente, acumulada, heterogénea y no

sistematizada, la cual se publica en su portal. De acuerdo con el INSC de la SEMARNAT, para diciembre del 2018, se tenían 913 sitios contaminados y otros 594 potencialmente contaminados. Estos se identificaron entre 2006 y 2011 a través de una encuesta de campo; sin embargo, no se han realizado estudios para comprobarlo.

Por la forma en que se presenta la información en el informe (no existe un portal de información como se estableció inicialmente) es imposible determinar con precisión cuáles de los sitios están contaminados con hidrocarburos. Sin embargo, con base en la información proporcionada, se estima que entre 408 y 745 sitios pueden estar contaminados con hidrocarburos. Los sitios bajo responsabilidad de PEP son atribuidos a las tomas clandestinas y sitios industriales. El número probablemente se acerque a los 655, cifra que reportó el medio Gatopardo,¹⁰³ el cual utilizó la lista histórica de lugares contaminados por PEMEX entre 2008 y 2021. Esta información se obtuvo a través de una solicitud al INAI (Instituto Nacional de Transparencia). Cabe señalar que algunos sitios están tanto en el inventario del INSC como en el inventario de PEMEX, pero es imposible determinar con certidumbre cuáles son estos.

Técnicas y costos de remediación

Existen muchas técnicas para remediar la contaminación por hidrocarburos y metales asociados. Como se explica en otras páginas de este informe, la mayoría de los sitios contaminados requieren una remediación de tipo física, química y biológica. La selección de la técnica debe ser un resultado del estudio de caracterización del sitio. En la mayoría de los casos, se pueden elegir alternativas según presupuesto, tiempo, concentraciones, disponibilidad de tecnología, mano de obra, etc. Consulte la lista detallada de tecnologías

al final de este documento para obtener más información.

¿Cuánto ha gastado PEMEX a la fecha en remediación?

Para estimar cuánto ha gastado PEMEX en remediación y las hectáreas remediadas, se revisaron sus informes anuales y sus informes a la SEC (Securities and Exchange Commission). La información más completa se obtuvo de los informes de la SEC. Se determinó que en junio de 1995 PEMEX informó que gastó 49 millones de pesos. Se planeó gastar otros 215 millones de pesos para remediar áreas de suelo superficial y subterráneo para cumplir con las leyes ambientales mexicanas. No se cuenta con información disponible al respecto, hasta 2002.

Los informes anuales de la SEC sobre las actividades de PEMEX brindan información sobre las hectáreas remediadas y los costos para el período 2002 – 2020; sin embargo, los informes anuales de PEMEX presentan datos de remediación de 2010 - 2021. Los registros de la SEC indican que se gastaron 115 millones de pesos en proyectos de remediación durante 19 años, pero los informes anuales muestran un gasto mucho mayor: 1,755 millones de pesos en un período de 7 años (datos solo para 2013 – 2019). En los informes de la SEC, no están disponibles o son inconsistentes los detalles de los costos asociados a las hectáreas remediadas. Una gran parte de los gastos difundidos en los informes anuales (y no aparente en la presentación de la SEC) podría atribuirse a los costos de remediación de Texistepec (aproximadamente 700 millones) de 2013 a 2015 o podría incluir otros costos ambientales no relacionados directamente con la remediación. Los datos de la SEC para el número de hectáreas remediadas (1,232 ha, más 3,265 represas, en su mayoría están asociadas con PEP) parecen ser la mejor

103 PEMEX y el medio ambiente: hay daños en 655 lugares de México (gatopardo.com)

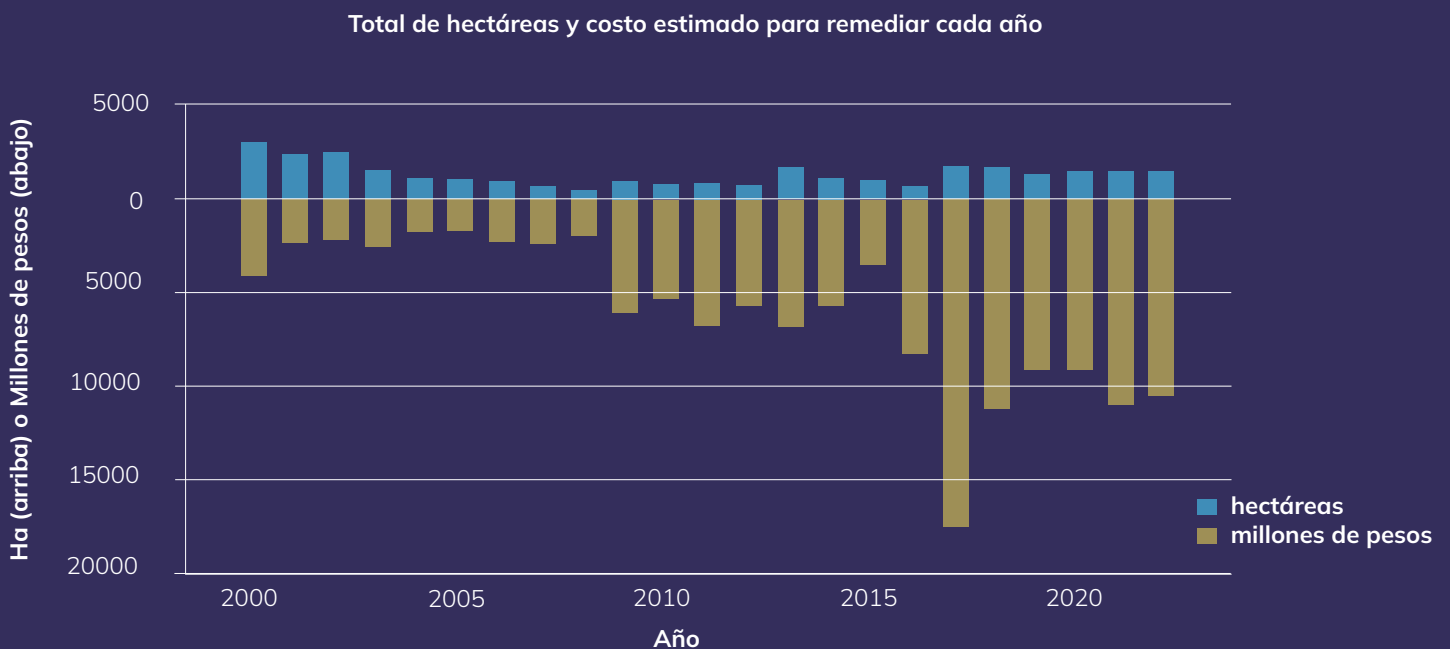
estimación considerando las dos fuentes. Para obtener una mejor estimación del gasto para remediar estas 1,232 ha, se calculó el costo promedio por hectárea de remediación con base en los datos disponibles en los informes (Cuadro 1) y luego se aplicó a las hectáreas con estimaciones faltantes para remediación. El resultado es que para un total de 1,232 hectáreas remediadas y 3,265 presas, el gasto estimado es de 12,242 millones de pesos. Un gasto adicional documentado en la presentación ante la SEC de 2022, incluye la remediación de los sitios de huachicoleo a un costo de 1,224 millones de pesos (aunque esto no está claro si fue solo para 2018 o para los años anteriores y/o hasta 2018). El inventario actual de sitios contaminados de PEMEX que requieren remediación a partir de 2022 es de 1,386 ha y 32 presas; de esto se estima un costo de 10,579 millones de pesos (Fig. 20).

† Cuadro 1. Costo (millones de pesos) de remediar por hectarea (ha) y por subsector de PEMEX según los informes anuales de la SEC (2000 a 2022).

SUB-SECTOR DE PEMEX	PROMEDIO COSTO POR HA	STD	RANGO
PEP*	3.5	1.8	1 – 8.4
Refinería	7.1	4.8	0.6 – 17.4
Gas (2000 – 2018)	4.1	3.6	1.2 - 11
Gas (2019 – 2022)	20	1.8	18.5 – 22.3
Químicos	2.9	1.1	1 – 2.2
Logística**	15	3.1	9.6 – 17.5

*PEP es Pemex Exploración y Producción; el costo estimado para la atención de las presas es de 2.7 millones de pesos por presa (STD = 2.1, rango 0.5 – 8.8).

**Empezando en 2015, PEMEX juntó proyectos asociados a remediación de ductos, almacenes y terminales dentro de Pemex Logística.



† Figura 20. Total de hectáreas y costo estimado para remediar cada año

Estimación de costos ambientales actuales atribuidos a PEMEX

Los gobiernos, académicos y ONGs que creen y trabajan hacia un futuro sin petróleo o con mucho menos fuentes de energía primaria, han comenzado a calcular los costos para dismantlar la infraestructura y limpiar las áreas contaminadas de la industria petrolera. A pesar de la gran incertidumbre de la imprecisión de la información de sitios contaminados, una primera aproximación del costo que representa abandonar adecuadamente la infraestructura de PEMEX y limpiar las áreas contaminadas por su actividad, durante más de cien años es de 500 mil millones de dólares. El Cuadro 2 contiene un desglose de esta cifra con referencias que se han utilizado para calcular el costo. La información que se ha utilizado en este cálculo procede de diversas fuentes de la literatura disponible, tratando siempre de utilizar la más reciente. En la medida de lo posible, se consultaron diversas fuentes y se comparó su validez de acuerdo a las estimaciones. Es posible que PEMEX, como parte de su responsabilidad fiscal con las bolsas de valores, accionistas e instituciones de crédito, cuente con documentación más certera de los costos que implica el dismantlamiento de su infraestructura. Seguramente, muchos de estos cálculos pueden mejorarse si se hace una solicitud de acceso a la información. Cabe mencionar que en 2024 PEMEX no pudo responder las solicitudes de la sociedad civil, debido a que el gobierno por razones políticas, no había querido nombrar a sus consejeros. Por lo tanto, mientras el consejo estuviera incompleto, el INAI no pudo seguir trabajando.

No se ha realizado ninguna acción para ajustar los costos pasados a los costos actuales. Tampoco se ha considerado usos alternativos de la infraestructura, como

rehabilitar los plataformas para que funcionen como arrecifes artificiales.¹⁰⁴ Los informes de la SEC entre 2000 y 2022 fueron útiles para calcular los costos de remediación específicos de los sectores de producción, distribución, extracción, refinación, productos químicos, etc. El costo de remediación de las 629 instalaciones de recolección, distribución y compresión de petróleo o gas se calculó estimando un área de 0.5 ha de suelo para cada instalación a un costo promedio reportado por PEP en los informes de la SEC (3.5 millones (M) de pesos /ha). El costo de provisión reportado en la SEC también se utiliza para la remediación de dos plantas petroquímicas (Pajaritos y Cangrejera, 11 ha y 54 M de pesos en total). La remediación de los centros de producción de gas está basada en el presupuesto para remediar el CPG (Centro Procesador de Gas) Reynosa por parte de Hacienda. No se encontró información específica sobre costos de remediar las terminales de gas y petróleo en México, por esta razón se usa lo estimado para remediación de terminales en el estado de California, EE. UU.. Puede ser una estimación alta por los costos altos que hay en California, pero es difícil saber sin estudio. Los medios de comunicación y varias fuentes electrónicas han informado recientemente sobre los costos que representa el abandonar/taponar los pozos y retirar las plataformas marinas. Se ha documentado que taponar 14,000 pozos en el Golfo de México (GOM) costaría alrededor de \$30 000 millones (MM) USD.¹⁰⁵ Mientras que en el Mar del Norte, donde las condiciones son más extremas que las del GOM, se informa que la remoción de 2000 plataformas puede costar 24 MM USD.¹⁰⁶ Un análisis de Byrd del costo según la profundidad del agua parece el más aplicable al escenario en el GOM, pero la cifra anotada, actualizada por Reuters es de 20 M USD por plataforma, utilizando los datos para

104 [The new use for abandoned oil rigs - BBC Future](#)

105 [The Gulf of Mexico Has a \\$30 Billion Oil Well Problem - Bloomberg](#)

106 <https://www.reuters.com/business/energy/uk-oil-gas-sector-faces-24-bln-bill-plug-old-wells-report-2022-11-22/>

los cálculos que se realizan aquí. ^{107,108,109}

Cuadro 2. Costos estimados para el desmantelamiento y remediación de instalaciones y pasivos de PEMEX en México. Millones (M).

ACTIVIDAD	UNIDADES	EST. COSTO	MONEDA	TOTAL	M USD \$	REFERENCIA
Desmantelamiento						
Refinería	6	100 M por unidad	USD	600	600	https://www.senado.gob.mx/65/gaceta_del_senado/documento/10327 ; CLU-IN Databases > Ecological Revitalization Project Profiles Database > British Petroleum (BP) Wood River Site (clu.in.org)
Ducto Terrestre	64 869 km	43 000/km	USD	2.79E+09	2 789	POD_Appendix_T_Decommissioning_Plan_12312019508.pdf (blm.gov)
Ducto Marino	3 974 km	187 000/km	USD	7.43E+08	743	FERC pipeline decommissioning cost in the U.S. Gulf of Mexico, 1995-2015 DOI: 10.1016/j.marpol. 2017.05.006
Instalaciones de colección, distribución y compresión	629	1.75 M/unidad	pesos	1 100.75	61.64	Asumiendo remed. de 0.5 ha suelo por cada instalación a 3.5 M de pesos por ha, según calculos usando datos PEP y SEC
Centro Prod. Gas	10	143 M/unidad	pesos	1 430	80.1	Proyecto de presupuesto de egresos de la federación 2020, Hacienda de 2019
Centro Prod. Químicos	8	27 M/unidad	pesos	216	12.1	Se usó información de la SEC para remediar los Centros de Pajaritos and Cangrejera
Terminales de Gas	19	590 M/unidad	USD	11 210	11 210	Demolition & Decommissioning Case Studies - EWMI 52 tanques California
Terminales de Petróleo	77	590 M/unidad	USD	45 430	45 430	Demolition & Decommissioning Case Studies - EWMI 52 tanques California
Pozos Terrestres	30 811	76 000/unidad	USD	2.34E+09	2341	Decommissioning Orphaned and Abandoned Oil and Gas Wells; DOI:10.1021/acs.est.1c02234
Plataformas Marinas	300	20 M/unidad	USD	6 000	6 000	Byrd et al. 2014. Cost estimating for off-shore oil and gas facility decommissioning. AACE EST.1648.1

107 Byrd et al. 2014. Cost estimating for off-shore oil and gas facility decommissioning. AACE EST.1648.1

108 [Offshore oil rigs: Can decommissioning ever be green? | Reuters Events | Sustainable Business](#)

109 [How much would it cost to shut down an offshore oil well in California? Who pays? \(yahoo.com\)](#)

ACTIVIDAD	UNIDADES	EST. COSTO	MONEDA	TOTAL	M USD \$	REFERENCIA
Puertos	10	85 M/unidad	USD	850	850	Cleanup & Remediation Port of Tacoma, https://health.hawaii.gov/heer/files/2019/11/FnlPHROD.pdf
Pasivos Ambientales						
Pasivos actuales	1 386 Ha y 32 presas	10 579 M total	Pesos		592.42	PEMEX_20-F_2022
Sitios contam. por tomas clandestinas	681 Ha	175 000/Ha	Pesos		6.7	Robo de hidrocarburo ductos.pdf (igavim.org)
Sedimentos en lagunas costeras	84 000 Ha	300/m ³	Euros		269 640	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666916122000457
Reversión climática		192 000 M total	USD		192 000	Grasso and Heede. 2023. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.04.012
Total					532 355.96 M de USD	
					532 MM de USD	

Calcular el costo de remediación de los pasivos ambientales atribuido a la actividad de PEMEX en todo el país es un reto enorme, principalmente por la falta de registros de sitios contaminados con información veraz y actualizada. Para este ejercicio, se ha decidido utilizar el total de hectáreas contaminadas y la provisión o evaluación del costo reportado en el informe de la SEC de 2022. Y es que PEMEX no incluye en su registro los terrenos o áreas contaminadas por tomas clandestinas los cuales han sido calculados por el observatorio ciudadano IGAVIM.^{110 111}

Los sedimentos de las lagunas costeras no han sido tampoco cuantificados. Sin embargo, este problema y el riesgo ambiental inherente ya ha sido reportado.¹¹² Las lagunas de la costa del Golfo de México reciben contaminación directa de las instalaciones que se encuentran cercanas. Adicionalmente, también hay importantes aportes de las cuencas

hidrológicas a través de los ríos que bajan al Golfo y del mismo Golfo. Esta zona, rica en términos ecológicos, también ha sido utilizada por PEMEX para desarrollar muchos de sus yacimientos más importantes.

Como se menciona anteriormente, para el presente trabajo se ha estimado el área de las lagunas costeras, de 85,000 ha, la cual está potencialmente contaminada. Esta cantidad fue estimada utilizando las 400,000 ha que representa el total del área de las lagunas (Google Earth). Se estima que el 21% pudiera estar contaminada (este es un porcentaje calculado del análisis de las lagunas costeras contaminadas de los EE. UU. en el Golfo).¹¹³ Utilizando diversas técnicas relacionadas a las prácticas de bioremediación, se calcula un costo de 324 USD/m³ (asumiendo 1 m de profundidad para el cálculo del costo total). Por ser un área de enormes dimensiones, el análisis realizado tiene un resultado altamente

110 https://www.scjn.gob.mx/sites/default/files/listas/documento_dos/2017-06/AD%209-2017%20PROYECTO05062017134520.pdf

111 [Robo de hidrocarburo ductos.pdf \(igavim.org\)](#)

112 [Botello et al. 1992. La contaminación en zonas costeras del Golfo de México: una diagnosis. Frente Marítimo. 11:129-137.](#)

113 Chapter 4. Sediment Contaminants of the Gulf of Mexico. 4.3.6. National Coastal Condition Report IV. In: Habitats and Biota of the Gulf of Mexico Before the Deepwater Horizon Spill. Vol I. H.E. Ward, Ed. 2017.



Ecuador

En 1995 se aprobó una concesión petrolera conjunta (Lago Agrio, 1960 a 1994) entre Texaco y Petroecuador en el norte de la Amazonía ecuatoriana para su remediación.¹²² El área contaminada comprendió 916 presas y 67 sitios. Se ha estimado que 60 mil millones de litros de aguas residuales tóxicas con concentraciones de hidrocarburos entre 500 y 5000 ppm se vertieron en las aguas superficiales locales y se derramaron 64 millones de litros de petróleo crudo.¹²³ Entre 1995 y 1998 se remediaron 161 de dichas presas y 67 áreas de derrame a un costo aproximado de \$40 millones de dólares. Cabe señalar que la remediación realizada ha sido calificada de incompleta.¹²⁴ Entre 2000 y 2008 se registraron otros 1,415 derrames en todo el Ecuador.¹²⁵ Ecuador está luchando en las cortes para que las empresas paguen la remediación.



Peru

En 2019, el gobierno peruano evaluó 32 sitios contaminados en el arrendamiento petrolero 192 (anteriormente 1AB) ubicado en la esquina nororiental del país en el departamento de Loreto. El Lote 192 es el campo petrolero más antiguo y anteriormente más productivo del Perú. Durante cincuenta años, el campo fue explotado primero por la empresa estadounidense Occidental Petroleum y luego por la empresa argentina Pluspetrol, antes de su desaparición. Al igual que en Ecuador, se encontraron diversas prácticas industriales deficientes, dejando de cientos a miles de sitios contaminados en suelos y arroyos. La presión de las comunidades indígenas locales

ha llevado al Ministerio de Energía y Minas a desarrollar planes de remediación para 32 sitios. Las estimaciones iniciales son que costará 184 millones de dólares remediar solo estos primeros sitios caracterizados.¹²⁶ El gobierno de Perú está pagando la mayoría de los costos de remediación.

El caso de Nigeria quizás es lo más parecido al de México en cuanto al ambiente natural contaminado y las causas de la contaminación. La mayoría de la contaminación está localizada en la costa en pantanos y humedales y en áreas agrícolas. Además, mucha de la contaminación es resultado de vandalismo de los ductos. A diferencia, México tiene contaminación resultando de más *downstream* procesando petróleo y gas. Falta tener una evaluación en México semejante a lo que cumplió la ONU en Nigeria para proveer una estimación real de extensión y magnitud de la contaminación. La información sobre el comportamiento del petróleo en ambientes trópicos y semi-trópicos que pueda facilitar evaluaciones de riesgo y remediación adquirida en Nigeria, Perú y Ecuador se aplica más a casos en México que la mayoría de la información que proviene de regiones templadas.

Financiamiento de los proyectos de remediación de PEMEX

Las actividades de remediación o limpieza de los sitios contaminados se realizan de acuerdo al presupuesto anual asignado por el Congreso Mexicano. Según las disposiciones legales y contables establecidas en el país, se reconoce un pasivo ambiental, cuando los costos son factibles y pueden llegar a ser razonablemente estimados. El desembolso para atender los diferentes temas ambientales, en los cuales se

122 Texpet's Remediation and Revegetation of Oilpits in the Ecuadorean Amazon. Chevron Public Affairs, San Ramon, CA.

123 [ChevronToxico | The Campaign for Justice in Ecuador](#)

124 [Chevron's Sham Remediation in Ecuador: Toxic Oil Pits Continue to Contaminate | HuffPost Impact](#)

125 Toxic Revenge (forbes.com)

126 La Sombra del Petróleo.

incluye la conservación, están vinculados con los ingresos y son contabilizados como gastos. Si dichos desembolsos se relacionan con operaciones del pasado que no contribuyan a la obtención de ingresos corrientes y futuros son también cargados a éstos. La creación de estas provisiones coincide con la identificación de una obligación relacionada con las acciones de remediación, para lo cual Pemex tiene la información adecuada para determinar un estimado razonable del respectivo costo.

La atención de las áreas afectadas que se encuentran pendientes a remediar se efectúa tomando en cuenta el criterio de jerarquización de los sitios. Es decir, dando prioridad a los que son localizados en zonas de riesgo, ya sea para la población local o bien por el incremento potencial del área afectada. Es importante señalar que la remediación de sitios está supeditada al cumplimiento de lo establecido en la legislación ambiental vigente. Para ello, se requiere presentar a la SEMARNAT las propuestas de remediación (caracterización de sitio y tecnologías de remediación) y obtener la aprobación de dichas propuestas, a partir de la suficiencia presupuestal para realizar las acciones en los sitios seleccionados, así como el acceso a los terrenos particulares afectados.

Sin embargo, el “deber ser” dista mucho de las acciones exitosas de remediación efectuadas por Pemex en los últimos años. La contaminación por hidrocarburos en las zonas con presencia petrolera, cada vez se hace más compleja, pero sobre todo extremadamente burocrática. Primeramente, por la falta de evaluación y mantenimiento dentro de los cuáles se encuentra el incumplimiento de los programas preventivos y predictivos en equipos industriales y ductos.¹²⁷ En este caso, se carece

de los recursos financieros (mecanismos administrativos y recursos económicos) adecuados, para mitigar el impacto ambiental y de seguridad.

Aun cuando se tiene un análisis conceptual del estado actual y de la importancia de los ductos en todo el país, la consideración para su atención está dirigida a la importancia productiva. En otras palabras, no se detiene la producción por obras que no son prioritarias y que le abonen rápidamente a ella. Si los ductos pueden durar un poco más de tiempo operando, el mantenimiento se pospone cuantas veces sea necesario. Hay casos que denotan claramente la falta de atención y responsabilidad ante los riesgos que representa la falta de mantenimiento. Por ejemplo, muchas veces no se cuenta de inmediato con los recursos o mecanismos administrativos, para comprar a compañías nacionales o extranjeras, equipo adecuado para sustituir válvulas, separadores, tubería, instrumentos de pozos, piezas de compresores etc. Sin embargo, como la producción de petróleo y gas son prioridad, se rescata alguno de ellos “viejo” que se encuentre en almacenes o en pozos o instalaciones abandonadas. Se le limpia, pinta, se hacen algunas pruebas básicas y así, sin el menor pudor, se instala. El tema aquí es que nada asegura que éste cubra los requerimientos básicos de integridad mecánica para soportar altas presiones, fricciones, gasto, temperaturas etc. Muchas instalaciones, cercanas a núcleos poblacionales, trabajan con un riesgo latente de accidentes y fugas.¹²⁸

Por otro lado, la actividad industrial de los hidrocarburos en México, tuvo su mayor auge entre los años 80 y 90. Durante este tiempo, los campos petroleros eran muy nuevos con una

127 El día 26 de julio de 2023 se reportó fuga y fuego en la plataforma Abkatun-N1 perteneciente a la Región Marina Suroeste. Este es un caso claro de la falta de mantenimiento y de la detección temprana para evitar riesgos a las personas y al medio ambiente. https://oilandgasmagazine.com.mx/2023/07/se-registra-explosion-en-plataforma-de-PEMEX-abkatunn1/?utm_content=buffer9ba5d&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer

128 Estos riesgos han crecido notablemente en los últimos años. Las comunidades locales asociadas con organizaciones criminales roban todo tipo de instrumentos, equipos y ductos abandonados para vender el metal al mercado negro. Esto es una fuente enorme ilegal de recursos económicos. Se tienen alrededor de 25 a 30 robos por día. Esto funciona también con el robo de hidrocarburos denominado “huachicol”. Según los Resultados Financieros de PEMEX, las pérdidas de PEMEX por huachicol se triplicaron en el tercer trimestre del 2022. Estas pasaron de 1,884 a 5,610 millones de pesos (El Economista, 2023). Por lo tanto, los riesgos de accidentes también se incrementan considerablemente.

vasta capacidad productiva; éstos ni requerían mantenimiento urgente y/o en su caso, había recursos suficientes para poder hacerlo. Hoy, 40 años después, la producción de petróleo y gas ha declinado, hay muy poca inversión en exploración, y muchas de las instalaciones, equipos y ductos en general, han rebasado su tiempo de vida útil.¹²⁹ No obstante, éstos siguen utilizándose para la transformación industrial y conducción de hidrocarburos. Si a esto le sumamos que no se consideró y no se han cumplido los programas de integridad mecánica, el riesgo de accidentes es continuo y muy alto, especialmente en regiones con condiciones climatológicas muy agresivas (áreas lacustres y salinas).

Aunado a lo anterior, el gobierno de México ha petrolizado aún más la política económica y financiera desde el sexenio anterior. Una parte del presupuesto del país ha sido para apoyar la deuda de Pemex; esta empresa es la

más endeudada del mundo. El gobierno se ha comprometido a apoyar los pagos periódicos de la deuda (comprometiendo su capacidad financiera soberana) para evitar una quiebra técnica, para que la empresa siga teniendo créditos internacionales (no obstante, los intereses tan altos de éstos), y sobre todo siga extrayendo el petróleo de exportación.

De igual manera, el gobierno anterior ha priorizado obras faraónicas que requieren una gran cantidad de dinero. Por ejemplo, se ha invertido en la construcción de la Planta de Refinación de Dos Bocas. El presupuesto inicial fue de 8,000 millones de dólares; sin embargo, al día de hoy se han gastado más de 18,000 millones de dólares sin refinar un solo barril por un periodo extenso de tiempo. Se espera que pueda producir más de 300,000 barriles de petróleo refinado para 2026. También el tren Maya es otra obra millonaria; se presupuestó en 156,000 millones de pesos,



©wpd911

129 El 29 de julio de 2023, el Director General de PEMEX –quién generalmente no informa a los medios de comunicación– realizó una rueda de prensa para dar a conocer la postura oficial sobre los derrames que han reportado diversas ONG’s y especialistas nacionales e internacionales. Él señaló que los ductos de los campos petroleros en el Golfo de México tienen ya más de 30 años de vida; por lo tanto, son susceptibles a alguna pérdida de contención y derrames.

lo que cambió a 373,699 millones de pesos respectivamente. Éste tampoco ha sido terminado. Cabe mencionar que en ambos casos ha habido un enorme deterioro de ecosistemas ecológicamente sensibles como son la selva alta de Campeche, Chiapas y Quintana Roo, así como los humedales de la costa de Tabasco. Se han construido estas obras sin la planeación adecuada, sin las medidas de mitigación y sin las Evaluaciones de Impacto Ambiental.

Si nosotros sumamos estas construcciones y el apoyo para pagar la deuda de Pemex, la inversión de recursos económicos es muy grande. Con ello podemos darnos cuenta que el gobierno ha dilapidado muchos de los fondos creados para diversas actividades ambientales, sociales, educacionales, culturales, de salud, etc. En el caso de las necesidades y prioridades ambientales en general, han sido abandonadas; se ha reducido el presupuesto de la SEMARNAT y la ASEA.¹³⁰ El presupuesto para el mantenimiento y operación de las áreas naturales se redujo considerablemente hasta en un 50%. Una parte importante de sus empleados (que resguardan zonas estratégicas contra la deforestación, la pesca ilegal, la venta y compra de vida silvestre etc.) han sido despedidos.


Por lo tanto, estos cambios en la política económica, energética y social en los últimos años, ha traído como consecuencia que muchas de las actividades de limpieza de los suelos y agua hayan sido olvidadas o abandonadas. Las acciones de mitigación, remediación y limpieza de las áreas contaminadas por hidrocarburos,

no tienen ni la importancia ni los recursos adecuados para cumplir la responsabilidad ambiental de la empresa. Esto lo podemos ver desde muchas aristas directas e indirectas. Por ejemplo, la inversión destinada a la atención de contaminación de suelos y aguas es risible, comparada con la enorme cantidad de instalaciones, equipos, ductos y acciones relacionadas a la actividad petrolera. Tampoco con la gran cantidad de extracción de petróleo y gas que, durante muchos años, se ha sacado de diversas regiones del país. La muestra es el incremento de accidentes industriales de Pemex. Explosiones, fugas, derrames, incendios y suelos y aguas contaminadas son la parte actual de la industria petrolera mexicana.

Desafortunadamente, se carece de una política seria, responsable y comprometida que muestre que una parte de los recursos obtenidos por la actividad industrial de los hidrocarburos, se destine a la limpieza y recuperación de áreas y suelos afectados. Los recursos para la remediación no existen y no están etiquetados claramente en los planes institucionales de Pemex.¹³¹ Cuando suceden accidentes y/o derrames, dichos recursos se van obteniendo en la marcha, ya sea por presión social, demandas de terceros o bien por la difusión del impacto ambiental por parte de algunos medios de comunicación u ONGs. Es importante señalar que no hay a la fecha un inventario con certeza de las zonas afectadas; personal de Pemex encargado de la limpieza de áreas comenta que muchas zonas contaminadas son olvidadas y al paso del tiempo nunca se les da la atención debida. Hay lugares que han permanecido contaminados

130 El presupuesto ambiental del 2018 al 2021 disminuyó de una manera importante. Por ejemplo, en la ASEA de 614 a 306 millones de pesos, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua de 256 a 201 millones, en el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de 221 a 167 millones (Presupuesto de Egresos de la Presidencia de la República, 2021; El Economista, 2023).

131 Probablemente, esto pudiera ser llevado al Congreso Mexicano a través de diversos colectivos u ONGs nacionales e internacionales que se encargan de apoyar el desarrollo ambiental de México. Presionar al gobierno mexicano a que realice un diagnóstico serio sobre todas las zonas que han sido afectadas por la producción petrolera. Esto incluso puede ser a través de la Suprema Corte de Justicia de la Nación; pudiera demandarse a PEMEX y al Gobierno de México contra los derechos y/o por la pérdida de servicios ambientales de la franja costera y de las zonas continentales del Golfo de México, incluyendo una parte importante relacionada a la salud de la sociedad local. Aunque habría que definir el tipo de demanda, creo que puede ser para crear un fondo de atención de desastres ambientales petroleros, una entidad académica apoyada internacionalmente que realice constantemente evaluaciones en esas áreas para su atención especializada y un proceso de reorganización interna de PEMEX y Gobierno de las áreas técnicas ambientales para la atención de los eventos o accidentes industriales.



© kapustin_igor

por 60, 30, o 20 años en el norte y sureste del país.

En México, no existe un fondo económico que pudiera ser utilizado para la atención inmediata de los sitios contaminados por petróleo.¹³² La existencia de esta iniciativa mostraría que hay interés y responsabilidad ambiental por parte Pemex. Esto también denotaría que el gobierno está comprometido en hacer valer la ley con sus empresas públicas, para evitar daños a la sociedad y medio ambiente. Si existiera, no solo habría coordinación institucional con otras áreas de gobierno o externas para disminuir los riesgos en ecosistemas ubicados en zonas petroleras, sino también se invitaría a la sociedad civil a participar activamente en estos casos, en la búsqueda de su propio bienestar.

La difusión de la problemática sería un tema de gobierno serio que ayudaría claramente a resolverlo. Incluso, el congreso mexicano, garante del cumplimiento de la ley, pudiera estar pidiéndole cuentas a la empresa, no solamente en el uso de los recursos económicos sino también en la protección de los recursos naturales estratégicos que comparten los ecosistemas con las zonas petroleras.

132 Aún cuando existe anualmente un proceso de requerimientos económicos por parte de PEMEX al Congreso Mexicano, la gran mayoría del presupuesto es para producir hidrocarburos, pagar la deuda interna y externa y los salarios de los trabajadores de la empresa. Si existiera el dinero pudiera estar disponible y utilizarse de inmediato cuando las fugas y derrames suceden.



La deuda ambiental de Pemex