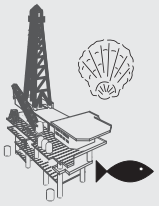
MONITOREO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD PETROLERA EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO



Arturo Mendoza Quintero-Mármol[1], Miguel Herrera Rodríguez[1] y Gabriel Olguín Pascualli [2]

[1]PEMEX Exploración y Producción Región Marina Noreste, [2]PEMEX Exploración y Producción Región Marina Suroeste

RESUMEN

El sureste del Golfo de México concentra en la actualidad el área con mayor importancia petrolera nacional, tanto por su producción actual de crudo como por las reservas detectadas. Su desarrollo ha implicado la interacción con ecosistemas y recursos oceánicos, costeros e insulares de características relevantes, en cuanto a sus propiedades ambientales así como por el aprovechamiento que realizan otros sectores productivos. Esta interdependencia ha motivado a que PEMEX Exploración y Producción (PEP), realice esfuerzos considerables para establecer programas ambientales cada vez más rigurosos en la prevención, control, monitoreo y evaluación de impactos potenciales. En este capítulo se presentan las actividades que PEP ha desarollado con respecto al monitoreo ambiental, presentando los aspectos más relevantes efectuados en la Sonda de Campeche de 1996 al 2003, realizados en su mayoría a través de instituciones nacionales de investigación. Durante este periodo se han concluido 64 estudios de investigación y monitoreo ambiental con una inversión cercana a los $208 millones de pesos, sin considerar los gastos indirectos y recursos internos asignados para su gestión y desarrollo. La inversión de estudios se han enfocado principalmente hacia el monitoreo oceanográfico (27%), evaluaciones integrales (24%) y sobre la calidad del aire (18%); el resto se enfoca a temas relacionados con el manejo integral de residuos, el monitoreo de descargas de aguas residuales, la evaluación y control de derrames, y la evaluación y monitoreo de ecosistemas críticos, entre otros temas relevantes. Los resultados obtenidos por PEP sobre la presencia y concentración de contaminantes en agua, sedimentos y organismos dan evidencia de que la calidad del ambiente cumple con los estándares nacionales obligatorios y se encuentra dentro del marco de referencias internacionales. Asimismo, la ausencia de patrones de distribución o de correlaciones causa-efecto con relación a la infraestructura petrolera, permiten descartar la presencia de impactos significativos o de carácter regional. Los efectos identificados son de carácter puntual y temporal, en el entorno inmediato a las instalaciones; y con evidencias de registros decrecientes que permiten establecer una mejora tangible en las prácticas operativas actuales. La gestión y desarrollo de los proyectos de monitoreo fortalece la generación de información relacionada con las actividades petroleras, y establece en la actualidad un referente consolidado al seguimiento de la calidad ambiental del sur del Golfo de México. Los reportes técnicos elaborados por PEP son en su mayoría requerimientos de las autoridades ambientales mexicanas, y son

enviados periódicamente para su evaluación y seguimiento. Con el objeto de fortalecer la utilización de estos reportes, se ha ampliado la difusión de resultados dentro del sector académico a través de publicaciones y eventos especializados, y aun dentro de los programas de divulgación de nuevos proyectos ante las comunidades. El reto es asegurar que las operaciones petroleras se desarrollen en armonía con el entorno ambiental y social, disponiendo de información técnica y científica que permita implementar medidas preventivas y correctivas, así como informar con objetividad a la población.

ABSTRACT

The Southern Gulf of Mexico is the most important area for the Mexican oil and gas industry, not only for oil production but also for detected oil reserves. Its development has included environmental impact assessment studies on the open-ocean and coastal ecosystem resources. In addition, the interrelation between offshore development, and coastal and marine ecosystems, and resources, both for their environmental properties, as well as the activities from different productive sectors within the coastal zone. All the above has promoted that PEMEX Exploration and Production (PEP) to developed a technical, human and financial approaches in order to enforce a tighter control on environmental impact control for PEP such as prevention, surveillance, monitoring and evaluation. This chapter describes the most relevant monitoring results related to Campeche Bay region between 1996-2003. Most of these monitoring programs have been conveyed by Mexican research institutions. During this period of time, sixty-four research and monitoring projects were concluded with an investment of $208 million of mexican pesos, not considering internal costs for management and development. Most of the resources invested on environmental studies are devoted to oceanographic monitoring (27%), multidisciplinary evaluations (24%), and air quality (18%). The remaining 31 per cent was related to waste management, water discharge monitoring, oil spill monitoring and evaluation, and critical habitat evaluation. Tests performed by PEP on pollution concentration in water, sediments, and marine organisms have shown that the environmental quality meets both national and international regulations and standards. Results shows, the absence of pollution distribution patterns related to offshore oil structures to establishing a weak relationship between oil activities and regional environment changes. It is important to point out that the effects detected close to oil facilities were punctual and temporal, with a negative tendency. Decrement of pollutants are clear evidences of current environmental-friendly industrial practices and technologies. Development and management of monitoring projects provide not only information about oil activities, but also the baseline for environmental quality in the Southern Gulf of Mexico. Most of these results are sent to Mexican environmental authorities for evaluation and are part of environmental legal requirements. In order to increase the use of the environmental results obtained, PEP has presented them on academic forums, published them on specialized publications, and are also used by new projects for enhance local communities capacity. The challenge is to harmonize oil-related activities and social and environmental development through scientific and technological information to support precautionary and mitigative measures, as well as promote communications with coastal communities.

INTRODUCCIÓN

La Sonda de Campeche es un sistema costero altamente dinámico en el que confluyen importantes flujos de agua provenientes de las descargas de ríos y lagunas costeras de los estados de Campeche y Tabasco, así como de las corrientes provenientes del Canal de Yucatán, mismos que aportan grandes cantidades de material orgánico e inorgánico, constituyéndose en una de las áreas de pesca más importantes del país (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1988).

Además de la pesca, cuenta con recursos naturales de alto valor económico, lo que ha generado una gran actividad industrial, especialmente asociada a la producción petrolera, así como actividades agrícolas, ganaderas y la constitución de centros urbanos; lo que también causa un riesgo de deterioro y contaminación (IMP *et al*., 2002).

La presencia de los hidrocarburos en la Sonda de Campeche ha sido una condición natural debido a las numerosas chapopoteras que generan aportes intermitentes de aceite crudo y gas natural. Adicionalmente, existen aportes de hidrocarburos por la actividad humana a través de las descargas de ríos, transporte marítimo, precipitación atmosférica y actividad petrolera mar adentro.

La actividad petrolera en la Sonda de Campeche se dio por avistamientos de chapopoteras naturales, dando inicio a la perforación de pozos exploratorios en 1977 que resultaron productivos, generando un crecimiento progresivo de trabajos de perforación, construcción de plataformas marinas y una intrincada red de ductos para la producción y transporte marino, siendo actualmente el área petrolera más importante del país.

El área principal de plataformas petroleras marinas se ubica 80 km al noroeste de Cd. del Carmen, Campeche es una zona abierta con 30-80 m de profundidad, presenta un gran dinamismo influenciado por corrientes oceánicas que desbordan sobre el talud continental, siendo en general un área no crítica en términos ambientales Sin embargo, las terminales marítimas para la distribución y venta del aceite crudo se encuentran cerca de ecosistemas críticos, como el arrecife coralino Cayos Arcas y la Laguna Mecoacán, en Tabasco. La figura 1 muestra la ubicación de la infraestructura con relación a la Sonda de Campeche.

PEMEX Exploración y Producción (PEP) es la subsidiaria más importante de Petróleos Mexicanos. Está dividida en cuatro regiones, Norte y Sur para el área continental, y Marina Noreste y Marina Suroeste para las actividades en el Golfo de México. Las regiones marinas cuentan con 166 plataformas marinas, 2,887 km de ductos submarinos y para su operación se dispone de una flota de aproximadamente 300 embarcaciones especializadas que realizan trabajos de construcción, mantenimiento, abastecimiento, inspección, transporte de personal y material. La producción actual de hidrocarburos en la Sonda de Campeche es de 2.867 millones de barriles diarios de aceite y 1,542 millones de pies cúbicos diarios de gas, equivalentes al 83.8% y 33.9% de la producción nacional de aceite y gas, respectivamente.

La actividad petrolera en la Sonda de Campeche, da empleo directo a través de PEMEX a 12,168 trabajadores, de los cuales 6,398 (53%) labora en las instalaciones mar adentro. La Población Económicamente Activa (PEA) relacionada con el petróleo en el Municipio del Carmen alcanza el 8% del total, mientras que a nivel estatal representa el 2% (INEGI, 2000).

La exploración y producción de hidrocarburos, como toda la cadena productiva del sector petrolero se encuentran reguladas a través de diversos instrumentos de la normatividad nacional. A partir de la expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en 1988 (SEMARNAP, 1988), todas las obras nuevas del Sector Petróleo son evaluadas a nivel federal a través de estudios de impacto y riesgo ambiental[1], donde se establecen los posibles impactos al ambiente y sociedad, así como las medidas compensatorias y de remediación requeridas en caso de que los proyectos sean ambientalmente factibles, las cuales se constituyen en condicionantes que supervisa la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). En el periodo 1993-2003, PEP ha documentado y obtenido aprobación de 153 permisos para instalaciones marinas y costeras de la Sonda de Campeche

Así mismo, en las regiones marinas PEP se ha integrado en forma voluntaria a partir de 1994 al programa de Auditorías Ambientales, donde empresas especializadas certificadas por la autoridad evalúan las condiciones en materia de seguridad y protección al ambiente. A partir de sus resultados se establecen programas correctivos, que al ser sa-

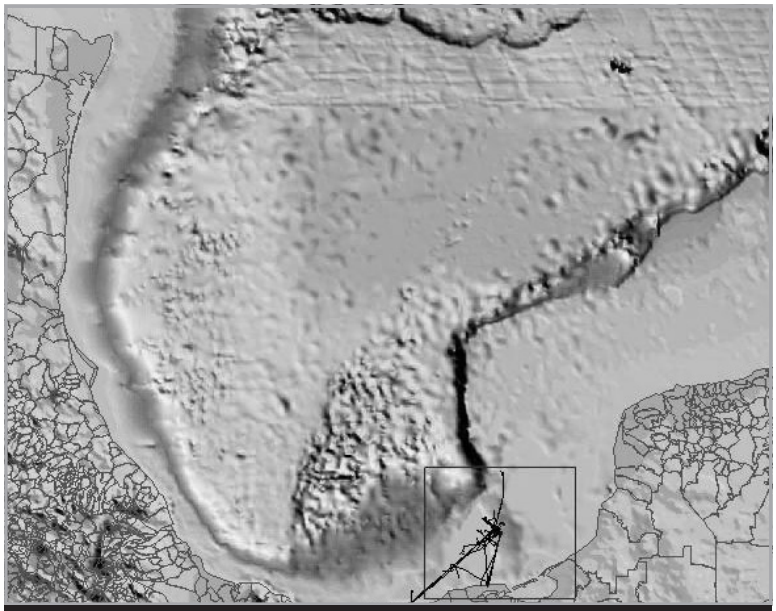


Figura 1. Ubicación de la infraestructura petrolera en la Sonda de Campeche.

[1] Las instalaciones construidas en el periodo anterior se incorporaron en un esquema de Diagnósticos Ambientales para su regularización.

tisfechos han permitido la certificación como "Industria Limpia" de 71 instalaciones por parte de la PROFEPA.

Con el objeto de sistematizar los procesos de seguridad y ambiente en armonía con el entorno, a partir de 1999 se implantó un sistema de gestión integral denominado Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección al Ambiente (SIASPA), el cual coordina todas las actividades operativas y administrativas, con el fin de prevenir y minimizar los riesgos al personal, a las instalaciones y al medio ambiente. Estos esfuerzos también son apoyados desde el año 2000 a través del Subsistema de Información de Seguridad y Protección Ambiental (SISPA), donde cada instalación registra directamente información detallada sobre las emisiones contaminantes generadas por cada centro de proceso en forma mensual; esto genera información en fuente que complementa los registros de monitoreo para la realización de diagnósticos y evaluaciones internas de desempeño ambiental.

ESTADO ACTUAL DEL MONITOREO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD PETROLERA

Petróleos Mexicanos y sus organismos descentralizados han desarrollado diversos programas de control y evaluación ambiental, incluyendo estudios científicos con instituciones nacionales de investigación y empresas internacionales, para asegurar la disponibilidad de información científica que permita evaluar los efectos actuales o potenciales de la actividad petrolera, en cumplimiento de requerimientos internos o de la autoridad ambiental, así como para establecer medidas de prevención y/o restauración en áreas afectadas.

Los recursos totales enfocados a la protección del ambiente en la Sonda de Campeche incluyen una gran diversidad de trabajos de mantenimiento, control, inspección y auditoría de los procesos industriales para minimizar los riesgos ambientales. Asimismo, la normatividad nacional e internacional[2] aplicable a las actividades petroleras marinas requiere la instrumentación de acciones diversas para el cumplimiento de estándares y requisitos, así como un amplio proceso de gestión ambiental.

El número y diversidad de los temas de investigación ambiental muestran un incremento y la consolidación de los temas prioritarios para sustentar el desempeño ambiental de las actividades de PEP en la Sonda de Campeche. La figura 2 muestra el número de proyectos por tema en el periodo 1996-2003 a través de 64 estudios con una inversión acumulada de $208 millones pesos.

Dada la naturaleza de las actividades en la Sonda de Campeche, el primer concepto de inversión en investigación científica se centra en el tema de oceanografía (27%), el cual se deriva de los trabajos de monitoreo continuo ambiental del medio marino iniciados en 1996. El segundo rubro en importancia son los estudios integrales (24%) donde se abordan en forma conjunta diversas variables ambientales y eventualmente sociales, para establecer un marco más objetivo de la evaluación de los impactos potenciales de la actividad petrolera. El tema de aire (18%) es el tercer rubro en interés, donde se ha enfatizado la evaluación de las condiciones de la calidad del aire en las zonas costeras de Atasta, Campeche y Paraíso, Tabasco. El 31% restante corresponde a la evaluación de áreas de manglar en la zona de la Laguna de Términos; caracterización de los arrecifes coralinos de Cayos Arcas; monitoreo de las descargas de aguas residuales; evaluación y monitoreo de derrames; caracterización de suelos, manejo integral de residuos y aspectos socioeconómicos.

La realización de estos trabajos requiere de un perfil de alta especialización académica, por lo que la mayor parte de los estudios se ha efectuado a través de instituciones nacionales de investigación, destacadas en el ámbito regional y nacional; dependiendo del tema también se han incorporado empresas especializadas en aplicaciones ambientales, tanto nacionales, como internacionales.

Entre las instituciones responsables de la realización de los estudios en el periodo 1996-2003, se destaca la participación de diversos institutos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (38%), la Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR) (6%), la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA) (13%), el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) (19%) y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN) (3%), entre otros.

Estas investigaciones no sólo fortalecen la información requerida por PEP para evaluar ambien-

[2] En particular las que se derivan de acuerdos de la Organización Marítima Internacional y Convenios Internacionales ratificados por el Gobierno Mexicano.

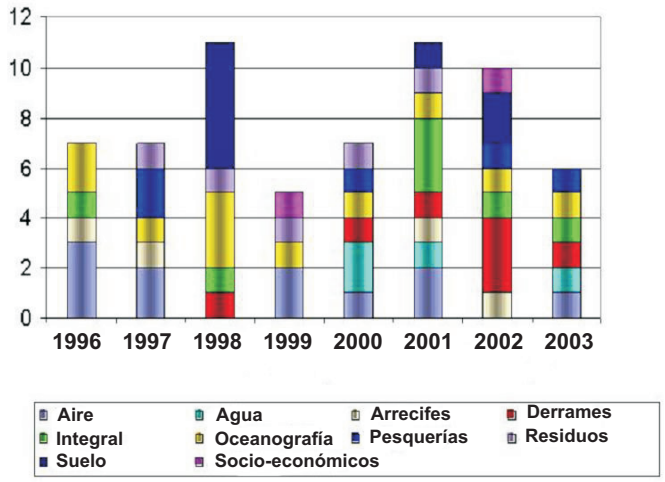


Figura 2. Número de estudios ambientales realizados por tema (1996-2003)

talmente sus actividades; también representan un foco de desarrollo para el avance científico y tecnológico con efecto regional y nacional.

OCEANOGRAFÍA

La región sur del Golfo de México ha sido monitoreada en forma sistemática a partir de 1996 a través de cruceros oceanográficos. Estos trabajos fueron iniciados por PEP como un diagnóstico de la calidad ambiental, con el objetivo de verificar las condiciones prevalecientes en el área de plataformas con relación al entorno regional (UNAM, 1997a). Con base en recomendaciones de los investigadores participantes, la cobertura del área de monitoreo oceanográfico se ha incrementado de 36 a 122 estaciones de muestreo, que actualmente cubren desde el norte de la Península de Yucatán hasta punta Roca Partida en Veracruz (Fig. 3). A partir de los resultados del diagnóstico inicial, el Instituto Nacional de Ecología (INE) en 1998 lo estableció como condicionante en materia de impacto ambiental para los proyectos de PEP en la Sonda de Campeche; en su cumplimiento, los resultados de cada crucero se remiten anualmente a la PROFEPA para su evaluación. La Tabla 1 presenta una relación de los cruceros oceanográficos de monitoreo ambiental realizados durante el periodo descrito y sus alcances.

Con base en estos estudios es posible establecer un marco general sobre las condiciones del ambiente en el entorno de las actividades petroleras en la Sonda de Campeche, el cual se presenta en forma temática, con ejemplos de referencia. El fundamento técnico de estos criterios se encuentra en los reportes de las instituciones mencionadas.

CALIDAD DEL AIRE

Se han realizado diversos estudios encaminados a evaluar los efectos sobre la población y ecosistemas naturales generados por las emisiones provenientes de las instalaciones petroleras existentes, así como para conocer la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Estos trabajos, inicialmente de carácter puntual, se consolidan a partir de 1997 con la creación de dos redes de monitoreo continuo de la calidad del aire costero (UNAM, 1997b), las cuales se instalaron con el fin de contar con información en tiempo real en las comunidades cercanas al Centro de Proceso, Transporte de Gas-Atasta y en la Terminal Marítima de Dos Bocas; ubicados en Atasta, Campeche y Paraíso, Tabasco, respectivamente.

Las redes cuentan con sensores para la detección de bióxido de azufre (SO_2), bióxido de nitrógeno (NO_2), óxido nítrico (NO), óxidos de nitrógeno totales (NO_x), ácido sulfhídrico (H_2S) e hidrocarburos, cuyos valores se comparan con relación a las normas oficiales mexicanas de calidad del aire. Esta información está puesto disponible en tiempo real a través de terminales ubicadas en las Delegaciones Federales de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en los estados de Campeche y Tabasco.

Los análisis realizados por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1996 y el Instituto Nacional de Ecología (INE) en 1999, para SO_2 y NO_2, fueron comparados contra los valores históricos obtenidos de las redes de monitoreo de PEP. De acuerdo con los resultados obtenidos, ningún contaminante excedió el valor referido en las normas de calidad del aire, alcanzando una es-

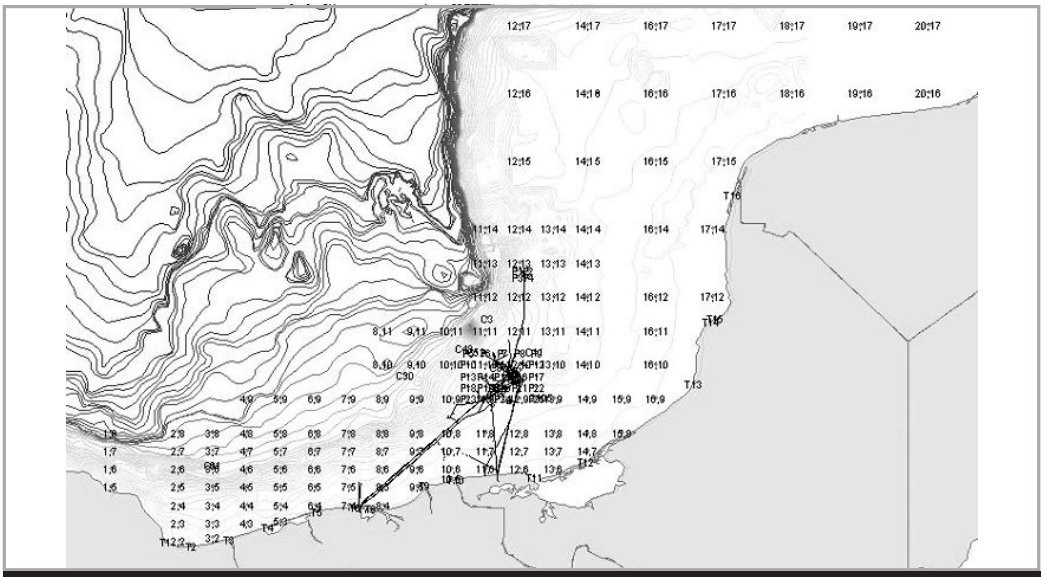


Figura 3. Cobertura actual del área de monitoreo oceanográfico 2003.

Tabla 1. Cruceros oceanográficos de monitoreo de la actividad petrolera (1996-2003)

No.	Nombre	Época	Fechas	Instituciones	Estaciones	Alcances							
						Agua	Sedimento	Plancton	Necton	Bentos	Toxicología	Sensores Remotos	Calidad del Aire
1	SGM-1	Lluvias	27.09-03.10. 1995	UNAM	36	■	■						
2	SGM-2	Lluvias	18-28.06. 1996	UNAM	48	■	■						
3	PERFOTOX - I	Lluvias	03-08.07.1996	IMP	25	■	■			■			
4	PERFOTOX- II	Nortes	14-18.11.1996	IMP	25	■	■			■			
5	PERFOTOX- III	Nortes	13-18.02. 1997	IMP	26	■	■			■			
6	SGM-3	Nortes	02.02– 08.03. 1997	UNAM	51	■	■						
7	PERFOTOX- IV	Secas	15-21.05. 1997	MP	25	■	■			■			
8	SGM-4	Nortes	27.11- 06.12. 1998	UNAM	53	■	■	■	■	■	■	■	
9	SGMA-A1	Nortes	26.02–02.03. 1998	UNAM	21	■	■						
10	XCAMBO-1	Lluvias	29.09–12.10. 1999	CINVESTAV	69	■	■	■	■	■	■	■	
11	NÚCLEOS 2000	Lluvias	31.10- 11.11. 2000	TDI-BROOKS	51		■						
12	SGM-6	Lluvias	01-20.12. 2001	UNAM	82	■	■	■	■	■	■		■
13	SGM-7	Nortes	24.11–13.12. 2002	UNAM	80	■	■	■	■	■	■		
14	SGM-8	Lluvias	01.09-08.10. 2003	UNAM	122	■	■	■	■	■	■		■
15	PLAT-DB	Nortes	25.11- 13.12. 2033	IMP	110	■	■	■	■	■	■		

cala de calidad entre "buena" a "satisfactoria" (IMP *et al*., 2002).

La figura 4 muestra los promedios mensuales del dióxido de azufre (SO_2) registrados durante el año 2003 en las redes de Atasta y Dos Bocas con relación al valor máximo permisible (0.13 ppm) y la media aritmética anual (0.03 ppm) establecidos por la NOM-O22-SSA1- 1993. El registro máximo obtenido en Dos Bocas y Atasta fue de 0.011 y 0.018 ppm respectivamente. Estos valores representan tan sólo el 8.5% y 14% del valor máximo permisible establecido por la Secretaría de Salud.

Con respecto al NO_2 para el mismo periodo, en la figura 5 se presenta el promedio mensual de ambas redes de monitoreo ambiental, donde el valor máximo registrado en Dos Bocas y Atasta equivalen a apenas el 1.43% (0.003 ppm) y el 3.3% (0.007 ppm) del máximo permisible de 0.210 ppm (NOM-021-SSA1-1993).

De manera adicional al monitoreo de instalaciones costeras, a partir del 2001 se incorporó el monitoreo de calidad del aire dentro de los alcances de los cruceros oceanográficos a bordo del B/O Justo Sierra. La figura 6 muestra la cobertura de la zona de estudio y los resultados que se obtuvieron de NO_2 y SO_2 durante la Campaña Oceanográfica SMG-6; la concentración de SO_2 registró un valor mínimo de 0.00 y un máximo de 0.009 ppm con un promedio de 0.001 ppm, que representa el 0.77% del valor normado. Mientras que para el NO_2 el valor mínimo y máximo fueron de 0.005 y 0.065 ppm respectivamente y con un promedio de 0.015 que representa el 7.1% del máximo permisible (UNAM, 2002).

AGUA

En las instalaciones marinas de PEP existen 136 descargas de aguas residuales registradas ante la

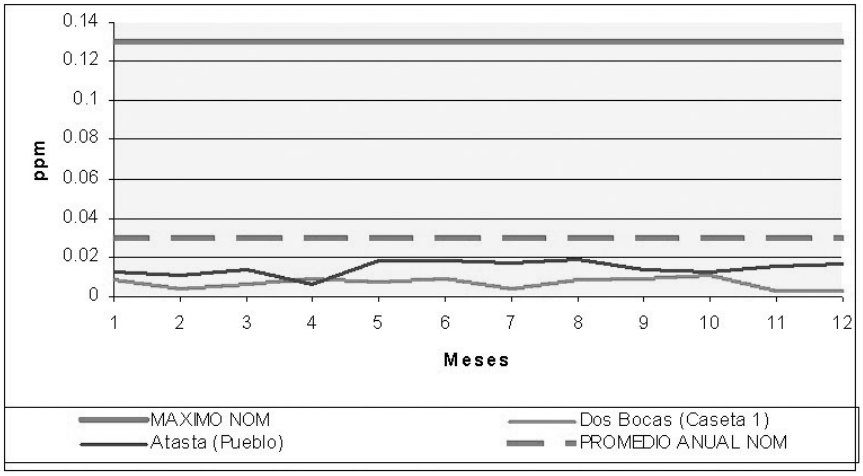


Figura 4. Promedios mensuales de SO_2 en las redes de monitoreo (2003).

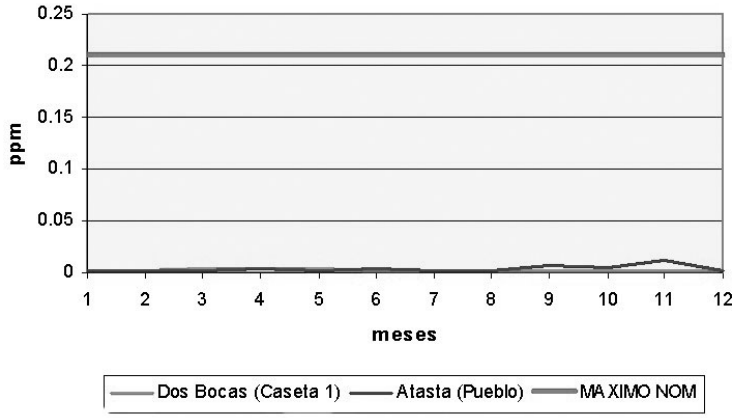


Figura 5. Promedios mensuales de NO_2 en las redes de monitoreo (2003).

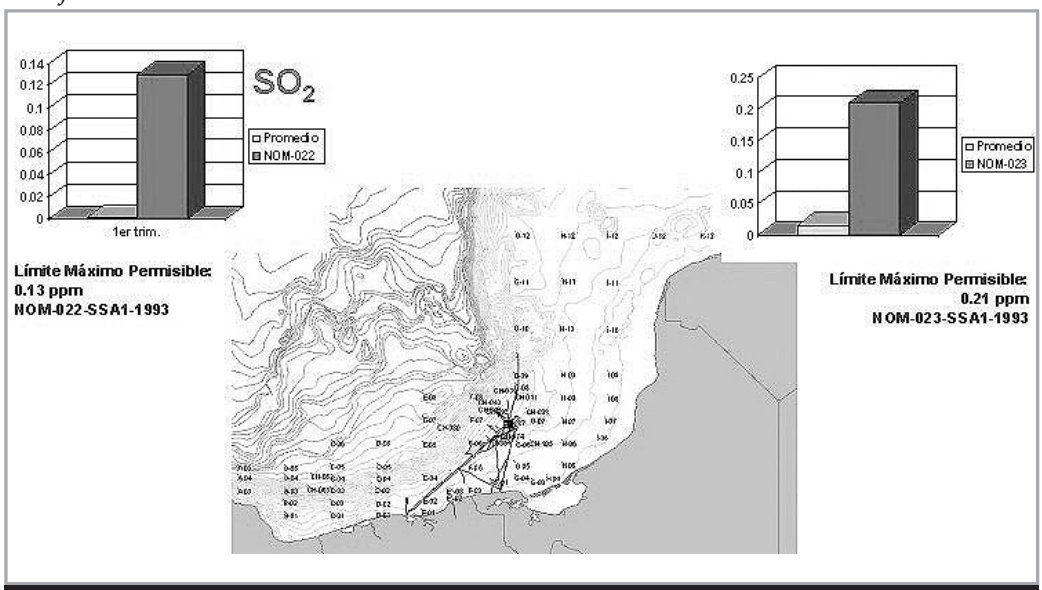


Figura 6. Cobertura oceanográfica de calidad del aire con resultados de NO_2 y SO_2 en 2001.

Comisión Nacional del Agua (CNA); la mayor parte de ellas son aguas negras y de rechazo que provienen de los servicios de hotelería para el personal a bordo de plataformas, representando aproximadamente un 83% del volumen total. Un 38.5% de éste corresponde al agua de rechazo de las plantas potabilizadoras, donde sólo se concentra la salinidad del agua marina por un proceso de ósmosis inversa para la producción de agua potable. El 17% restante, son aguas aceitosas provenientes de limpieza y mantenimientos de equipos, y aguas amargas por condensación durante el endulzamiento del gas. Las aguas negras, aceitosas y amargas son conducidas a plantas de tratamiento para eliminar la materia orgánica y los principales contaminantes antes de ser descargadas al medio.

Una descarga adicional es la del agua de formación que proviene del proceso de deshidratación del aceite crudo, el cual sólo se realiza en las instalaciones de la Terminal Marítima Dos Bocas, con un volumen estimado de 6,000 m^3/año (IMP *et al*., 2002). Esta agua es tratada y en su mayoría se reinyecta al subsuelo a través de pozos no productivos.

Todas las descargas de aguas residuales son evaluadas en forma trimestral para verificar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996; los resultados se remiten trimestralmente a la CNA y dan soporte al pago de derechos en materia de agua.

En forma complementaria, la calidad del medio marino es evaluada también a través de los cruceros oceanográficos. Con base en la información de estudios realizados a partir de 1996 sobre los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua, en la figura 7 se identifican tres zonas bien diferenciadas que influyen en el comportamiento general del ecosistema marino en el área (Sonda de Campeche y Plataforma de Yucatán): La Zona 1 ubicada al nordeste del área de plataformas con las mayo-

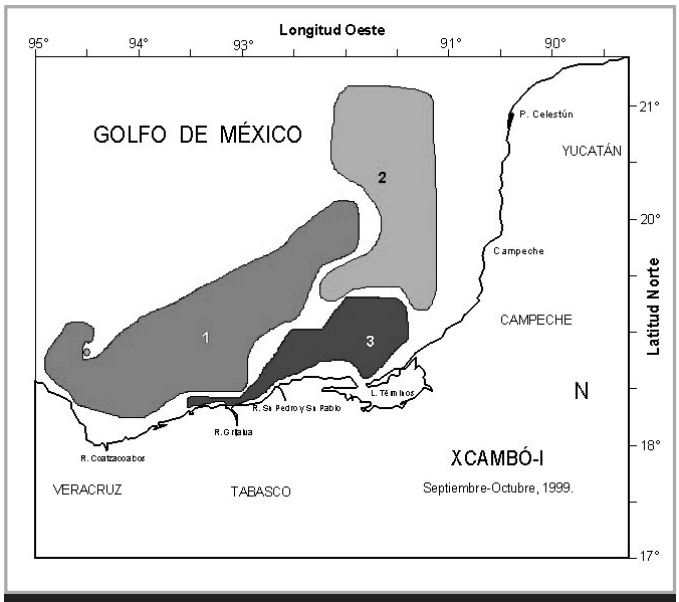


Figura 7. Regionalización de aguas someras en la Sonda de Campeche (CINVESTAV, 2000).

res temperaturas y salinidades; la Zona 2 cercana a las desembocaduras de los ríos Grijalva, San Pedro y San Pablo y de la Laguna Términos, con las menores salinidades; y la Zona 3 que agrupa sitios (estaciones de muestreo) de la parte noroeste y el centro del área estudiada, con salinidades intermedias (CINVESTAV, 2000).

Con la información derivada de investigaciones realizadas en el periodo 1987-1999, se estableció una línea base de la calidad ambiental de la Sonda de Campeche en cuanto a substancias contaminantes y se comparó con relación a valores registrados del agua marina a nivel internacional; la Tabla 2 muestra los resultados de esta comparación. En la mayoría de los casos, los valores de la Sonda de Campeche estuvieron cerca de los niveles internacionales más bajos, lo que indica que la calidad del agua en esta área no ha sido alterada, y se descartan efectos negativos sobre el medio ambiente (IMP *et al*., 2002).

Para ejemplificar lo anterior, se resume a continuación el comportamiento de las principales substancias contaminantes comunmente asociadas a la industria petrolera como son los hidrocarburos y algunos metales pesados.

La información reciente indica que en general las concentraciones de hidrocarburos disueltos en agua han sido bajas y se asocian principalmente a las descargas de los ríos de los estados de Campeche, Tabasco y Veracrúz, así como al transporte marítimo internacional a través del Canal de Yucatán. Estas concentraciones son comparables a las registradas en aguas costeras y oceánicas de otras latitudes.

Tabla 2. Calidad del agua en la Sonda de Campeche con relación a valores mundiales

Parámetro	Intervalo de Valores (mg/l) (max - min)	Estándares Mundiales para Agua	
		Mínimo	Máximo
Acenafteno	0.042 - 0.001	320	970
Acenaftileno	11.52 - 0.003	0.0088	300
Antraceno	0.02501 - 0.02501	0.001	108000
Benzo(a)antraceno	0.15 - 0.006	0.0088	300
Benzo(a)pireno	1.47 - 0.1420	0.0001	300
Benzo(b)fluoranteno	7.544 - 7.544	0.0088	300
Benzo(k)fluoranteno	1.474 - 1.474	0.0088	300
Cadmio	2.35 - 0.007	0.005	59
Cromo	0.73 - 0.03	2	3230
Criseno	0.778 - 0	0.0088	300
Cobre	7.5 - 0.005	0.005	50
Dibenzo(a,h)antraceno	2.627 - 0.1650	0.0088	300
Fluoranteno	0.0392 - 0.001	0	393
Fluoreno	1.21 - 0.0846	0.0088	300
Plomo	4.75 - 0.001	0.005	668
Mercurio	0.89 - 0.0006	0.0001	1.8
Naftaleno	4.23 - 0.8683	5	2350
Níquel	4.96 - 0.024	5	3900
Fenantreno	0.02501 - 0	0.0088	300
Pireno	0.02501 - 0.005	0.0088	8970
Vanadio	12 - 0.0001	50	280
Zinc	112 - 0.006	0.5	200

Fuente: Adaptado de IMP *et al.,* 2002

En la campaña oceanográfica 2001 la mayor parte de las estaciones de muestreo presentaron concentraciones menores al límite de detección, sólo en el 20% de ellos se presentaron trazas de hidrocarburos (Fig. 8). En la capa superficial su distribución fue preferentemente hacia el canal de Yucatán en tanto que en la capa profunda su distribución fue hacia Coatzacoalcos, Veracruz (UNAM, 2002). En la campaña oceanográfica del 2002 se registraron hidrocarburos disueltos en el 21% de las estaciones de monitoreo, concentrándose preferentemente frente a la desembocadura del Río Grijalva (0.06 mg/l), además de los sitios identificados como emanaciones naturales (UNAM, 2003).

Con relación a los metales pesados disueltos en agua, los resultados de las últimas campañas oceanográficas realizadas indican que tanto en la capa superficial como en la de fondo, las concentraciones son similares a las reportadas para otras regiones marinas y los niveles se encuentran dentro de los límites establecidos en los criterios ecológicos nacionales (UNAM, 2002).

El níquel y el vanadio son metales pesados que normalmente se asocian a las actividades petroleras, dadas sus altas concentraciones en la mayoría de los aceites crudos. Las concentraciones promedio de níquel han sido de 0.80 y

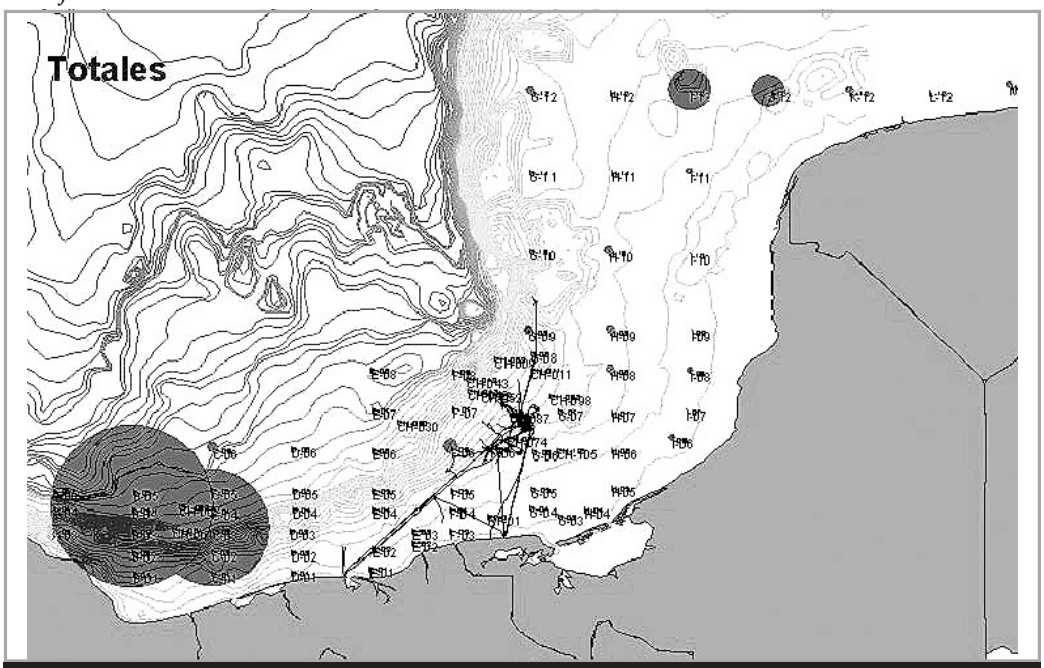


Figura 8. Distribución espacial de hidrocarburos totales disueltos durante la campaña 2001.

0.90 ppb, en tanto que para el vanadio, los valores promedio han sido de 1.11 y 2.34 ppb; en ambos con una amplia distribución en toda el área estudiada, con similar concentración en la capa superficial y en la de fondo (UNAM, 2002 y 2003). Las mayores concentraciones se asociaron a chapopoteras (emanaciones petroleras naturales), al área de plataformas petroleras y hacia el Canal de Yucatán; en el caso del niquel también se asoció con escurrimientos costeros del estado de Tabasco (Figs. 9 y 10).

En un plano regional para toda el área de monitoreo, estos escurrimientos costeros se han identificado como las principales fuentes de metales como el bario, cromo, aluminio, hierro y plomo, este último también es aportado por el Canal de Yucatán (UNAM, 2002 y 2003).

SEDIMENTO MARINO

Dada la dinámica del medio marino, los sedimentos son utilizados internacionalmente como el registro más confiable para el análisis de contaminantes y la determinación de la calidad ambiental. Una comparación de las concentracio-

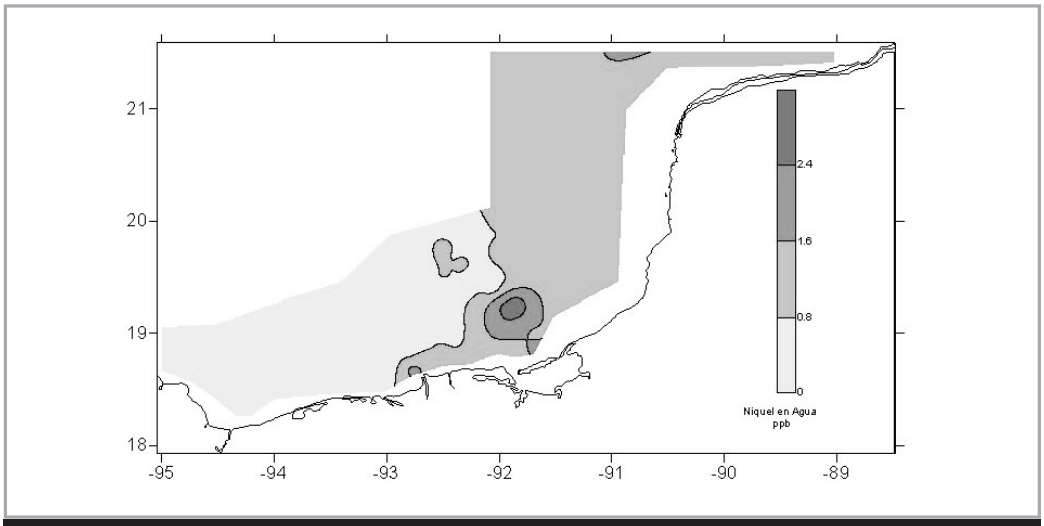


Figura 9. Distribución espacial de níquel disuelto durante la campaña 2001.

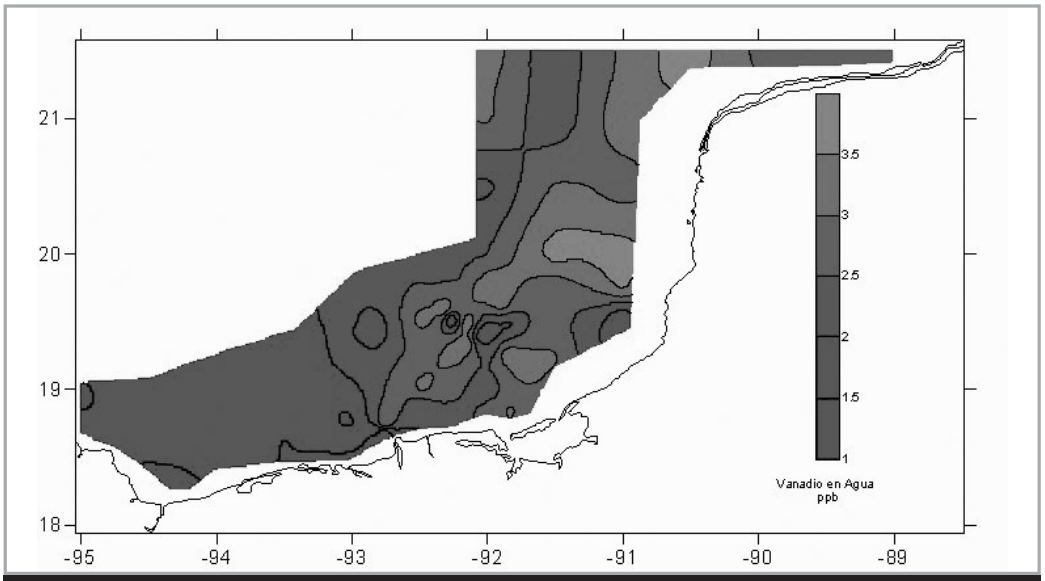


Figura 10. Distribución espacial de vanadio disuelto durante la campaña 2001.

nes registradas para contaminantes en el sedimento marino de la Sonda de Campeche con relación a la reportada en la región norteamericana del Golfo de México, mostró que la composición química de los sedimentos provenientes de ambas regiones no presentaban diferencias; tampoco se pudo identificar un patrón espacial que mostrara el impacto de las instalaciones petroleras. La Tabla 3 presenta los valores reportados entre 1980-2001 con relación a las costas americanas, así como valores mínimos y máximos mundiales (IMP *et al.*, 2002).

Con relación a los metales pesados del sedimento, además del níquel y el vanadio se destaca el seguimiento sobre el bario y el cromo, relacionados con las actividades de perforación de pozos por el empleo que anteriormente se realizaba de barita y/o cromita.

El análisis del periodo 1983-1999 estableció que el único metal que excedió los niveles de selección para la identificación de riesgos fue el níquel [3]. Sin embargo, su origen no es diferenciado claramente entre emanaciones naturales, actividad petrolera y condiciones geológicas. En lo general los riesgos asociados a la presencia de metales se consideran bajos, aunque se recomendó la realización de pruebas toxicológicas para determinar con precisión el riesgo potencial (IMP *et al.*, 2002).

Existen evidencias sedimentarias de la influencia de las descargas continentales sobre la zona de plataformas. La presencia de lignina en diferentes niveles de sedimento muestra una vinculación clara y continua con los aportes terrestres (UNAM, 2002). Esto también se ha observado a través de registros de plaguicidas y otros contaminantes asociados a actividades agropecuarias (CINVESTAV *et al.*, 2002).

Con el objeto de determinar los cambios históricos en el registro de contaminantes en el sedimento, a partir del 2001 se han incluido análisis a tres profundidades, a fin de diferenciar impactos recientes (sedimentos superficiales) de prácticas anteriores (sedimentos profundos). La figura 11 muestra que para el caso del níquel existe una marcada reducción en los valores recientes, lo que se correlaciona con la mejora operativa y mejores prácticas actuales. En el caso del bario se observa un comportamiento similar (Fig. 12).

La figura 13 muestra la concentración promedio de hidrocarburos totales en la capa superficial de los sedimentos del Sur del Golfo de México en el periodo 1978-2002, en comparación con el criterio internacional establecido por la UNESCO (1976) como límite para áreas no contaminadas (70 ppm). Los datos a partir de 1996 han sido generados directamente por el programa de monitoreo oceanográfico de PEP. La cobertura de estos cruceros fue regional, con excepción del valor de 1998 (crucero SGM-A1), que se enfocó al monitoreo de chapopoteras. De acuerdo a los estudios más recientes los aportes de hidrocarburos muestran un descenso a partir de los años noventa (CINVESTAV, 2000; CINVESTAV *et al.*, 2002).

[3] Los mismos investigadores observan que esto puede relacionarse con los registros de níquel de origen geológico en las costas de Tabasco.

Tabla 3. Calidad del sedimento de la Sonda de Campeche con relación a valores mundiales

Parámetro	Sonda Rango de valores (max - min)	Percentil 90th Norte del Golfo de México	Estándares de Sedimentos (mg/kg)	
			Mundial (mínimo)	Mundial (máximo)
Acenafteno	0.017 – 0.004	0.026	0.016	230
Acenaftileno	0.006 - 0.006	0.016	0.044	0.64
Antraceno	0.05 - 0.001	0.036	0.05	1.1
Bario	369 - 2.007			
Benz(a)antraceno	0.069 - 0.01	0.151	0.1	1.6
Benzo(a)pireno	0.013 - 0.013	0.111	0.0002	1.6
Benzo(b)fluoranteno	0.01 - 0.01	0.182	-	-
Benzo(k)fluoranteno	2339 - 522	0.125	230	1250
Cadmio	2.35 - 0.035	0.534	0.1	25
Cromo	118 - 7.96	88.926	6.3	370
Criseno	0.029 - 0.0	0.132	0.1	2.8
Cobre	32 - 0	27.726	5	390
Dibenzo(a,h)antraceno	0.32 - 0.0002	0.081	0.063	0.26
Fluoranteno	0.010 - 0.0	0.262	0.00072	300
Plomo	81 – 0.009	45.790	5	530
Manganeso	325 - 4.671	743.342		
Naftaleno	644 - 332	0.053	0.03	99
Níquel	124 - 0.470	28.314	20	52
PAH (Totales)	257.5 - 0.003	-	0.00001	205
Fenantreno	0.036 - 0	0.135	0.1	1.5
Pireno	0.012 - 0	0.272	0.0006	2.6
Vanadio	79 - 0.218	-	-	-
Zinc	111 - 0.1238	140.846	50	960

Fuente: Adaptado de IMP *et al.,* 2002.

La concentración de los hidrocarburos totales alifáticos, se encuentra dispersa en toda el área de estudio, estableciendo múltiples fuentes. Por otra parte, la presencia de fracciones con peso molecular alto, confirma la presencia de aceite crudo en la zona proveniente de fuentes naturales (chapopoteras) o actividades de explotación petrolera. Al igual que para metales pesados, a partir del 2001 se incluye el análisis a diferentes niveles para analizar su comportamiento histórico.

En la figura 14 la fracción más superficial (0-5 cm) muestra que los aportes recientes más importantes provienen de la costa del estado de Tabasco y del Mar Caribe a través del Canal de Yucatán. En el estrato intermedio del sedimento (6-10 cm), los mayores aportes se asocian al área de plataformas y chapopoteras. La diferencia entre estos dos estratos del sedimento son evidencia de una mejora en las prácticas actuales de explotación petrolera. Finalmente, para explicar la ausencia de hidrocarburos en el nivel más profundo se establece la hipótesis de que sea el resultado de la asimilación por diversos microorganismos.

Los impactos registrados a través del sedimento se restringen a áreas de influencia puntual, las referencias internacionales señalan que los efectos de alteración por plataformas se eliminan después de 100-200 m (Kennincut,1994; Montagne, 2003). La escala actual de monitoreo ambiental no ha identificado efectos a nivel regional, con el objeto de verificar el caso puntual en la Sonda de Campeche se iniciaron trabajos de evaluación en 2003.

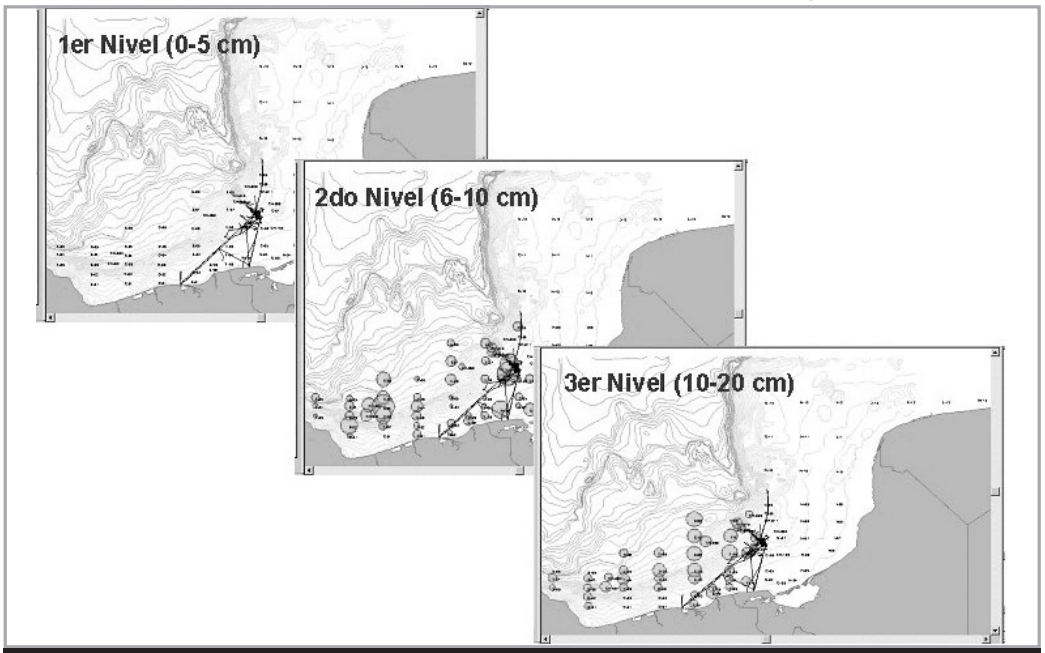


Figura 11. Distribución espacial y vertical de níquel en sedimento durante la campaña 2001.

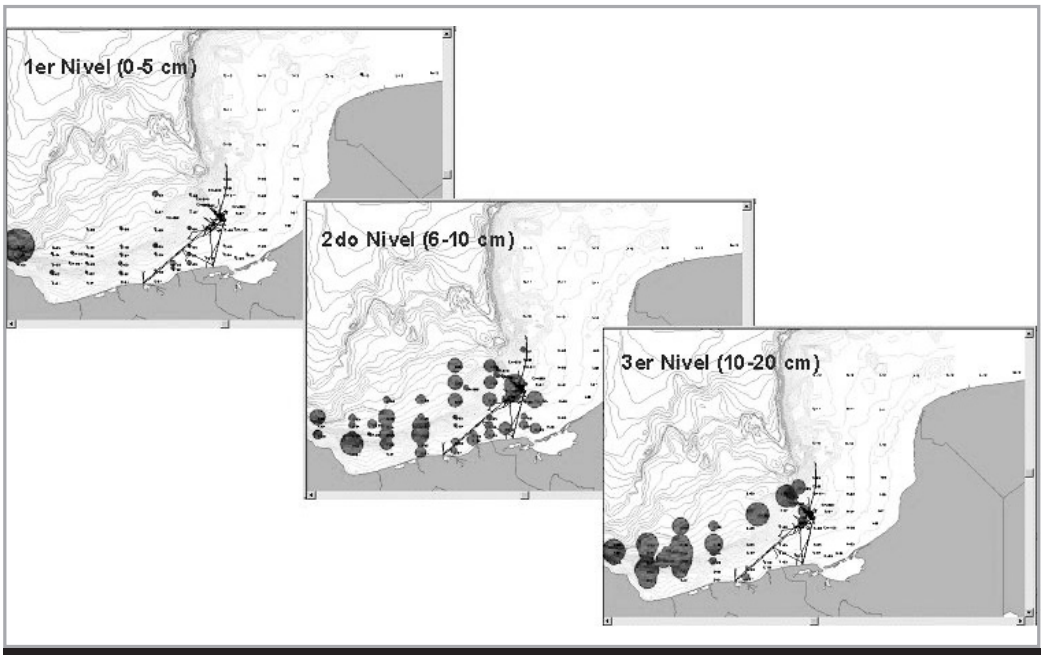


Figura 12. Distribución espacial y vertical de bario en sedimento durante la campaña 2001.

BIOTA ACUÁTICA

Los cruceros oceanográficos incluyen la colecta de organismos de fauna marina, con el fin de conocer su composición y el grado de afectación de las actividades petroleras costa afuera sobre dichos organismos.

En un análisis histórico sobre plancton se elaboró un listado taxonómico general, que consta de 519 taxa, de las cuáles seis son Chlorophytas, 11 corresponden a Cyanophytas, uno a Euglenophytas, nueve a Phaeophytas, 25 a Prymnesiophytas, 252 a Bacillariophytas, 195 Dinophytas, una Nanoflagelada no identificada y 19 Fitoflageladas no identificadas (IMP *et al*., 2002).

Con base en la información histórica recabada se ha propuesto en forma preliminar una composición taxonómica del zooplancton en la Sonda de

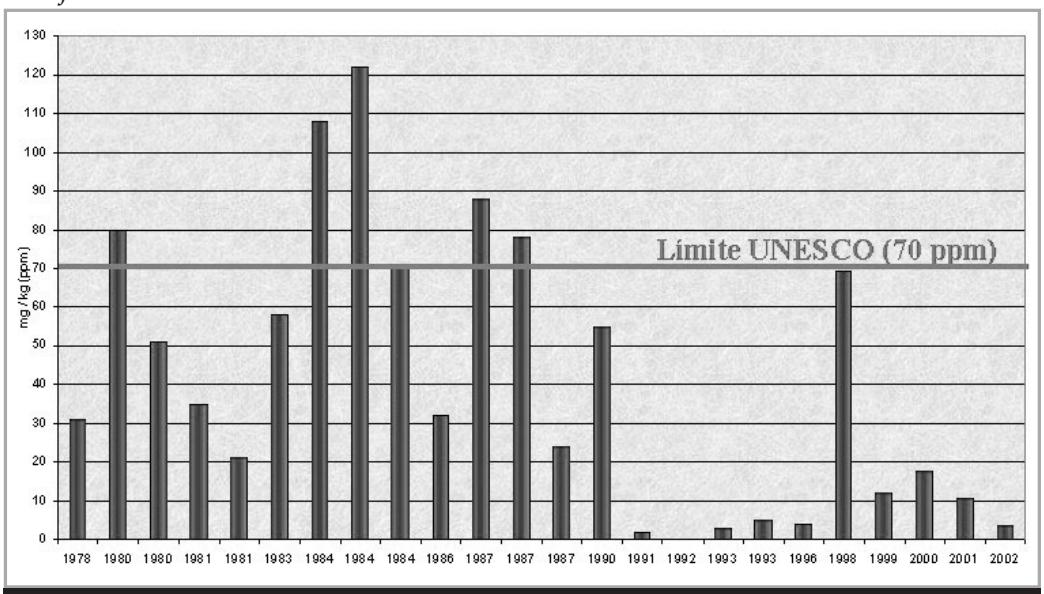


Figura 13. Registro histórico de la concentración de hidrocarburos totales en sedimento en la región sur del Golfo de México.

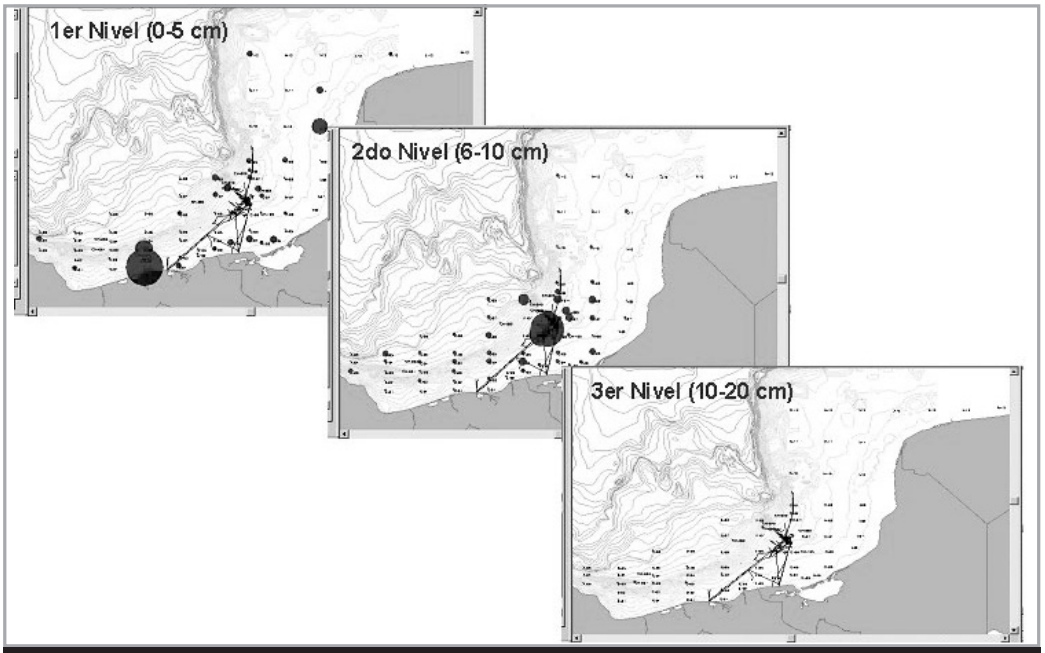


Figura 14. Distribución espacial y vertical de hidrocarburos totales en sedimento durante la campaña 2001.

Campeche que comprende 326 taxa, distribuidos numéricamente en 15 phyla, entre los cuales destacan los crustáceos, las larvas de peces, los moluscos y anélidos. El índice de diversidad muestra un patrón espacial indicativo de la existencia de dos comunidades zooplanctónicas asociadas a diferentes regímenes hidrológicos: uno hacia el occidente influenciado por las descargas fluviales y otro, hacia el oriente con alta salinidad y temperatura características del Banco de Campeche. El traslape o transición entre estos dos grandes conjuntos comunitarios ocurre frente a las aguas de la Laguna de Términos. La zona de restricción a actividades no petroleras queda incluida dentro de este ecotono, por lo cual se distinguen valores altos de biomasa y diversidad en el verano (CINVESTAV, 2000).

En el caso del bentos, la composición específica para el componente comprende un total de 1,422 especies de invertebrados que han sido reportadas

para el Golfo de México desde 1978 hasta 2001. Para el 71.66% de dichas especies se logró obtener datos de su localización geográfica dentro de la Sonda de Campeche, lo cual asciende a un total de 5,961 registros. No obstante, los registros a nivel específico se han enfocado principalmente a los phyla más conspicuos como son el Annelida, Arthopoda (decápodos) y Mollusca, en su fracción macrobentónica (IMP *et al.*, 2002).

Para los peces marinos, los resultados obtenidos muestran que su distribución no es homogénea y presentan un comportamiento similar al mostrado por el zooplancton. Durante el crucero 2001 la abundancia presentó los mayores valores frente a la Laguna de Términos entre los 20 y 60 m de profundidad; área que incluye la parte sureste de plataformas (Fig. 15). Esto se asoció a la fuerte interacción de las especies con procesos costeros como descargas de ríos, lagunas, corrientes marinas, mareas, entre otros (UNAM, 2002).

En lo que respecta a los invertebrados, durante 2001 los crustáceos fueron el grupo con mayor abundancia y riqueza específica seguida de los equinodermos y moluscos. Las especies dominantes fueron: *Callinectes similis, Portunus spinicarpus, Farfantepenaeus duorarum, F. aztecus, Litopenaeus setiferus, Solenocera vioscai, Sicyonia dorsali, Rimapenaeus similes, Luidia clathrata, Astropecten nitidus, Squilla empusa* y *Squila chydaea.* En el caso de *F. aztecus* fue más abundante que el *F. duorarum*, cuando la relación era inversa, lo mismo se detectó en la relación de *S. vioscai* y *R. similis* (UNAM, 2002).

Dentro del área de plataformas se han capturado especímenes de camarón *F. dourarum, S. brevirostris* y *F. aztecus*, principalmente (UNAM, 2002). La talla de reproductores de *F. duorarum* observada en 2002 fue significativamente mayor y contrasta con las capturas realizadas fuera de ésta, donde se capturaron organismos menores. También se destacó que por cada 5 kg de camarón se registró una captura incidental de 95 kg de otras especies de peces, moluscos y crustáceos, los que normalmente no son aprovechados. Esto da indicios de que el área restringida a la pesca sirve como refugio para los reproductores, ya que al reducir la presión pesquera sobre ellos pueden seguir reproduciéndose hasta el fin de su ciclo de vida (CINVESTAV *et al.*, 2002).

La mayor parte de los componentes ambientalmente críticos que se pueden vincular con la actividad petrolera también pueden tener otros orígenes, inclusive naturales. Por esta razón es necesario ahondar en el origen de las fuentes y determinar posibles impactos a través de una relación causa-efecto, entre los valores registrados de contaminantes y los daños histológicos en especies expuestas o sensibles.

Los cruceros oceanográficos llevados acabo desde 1988 para el monitoreo ambiental incluyen la toma de muestras de organismos para su análisis histológico. Los resultados obtenidos a la fecha muestran que las lesiones encontradas en organismos colectados en toda el área de monitoreo no puede relacionarse espacialmente con la actividad petrolera, y su incidencia en tejidos es de carácter

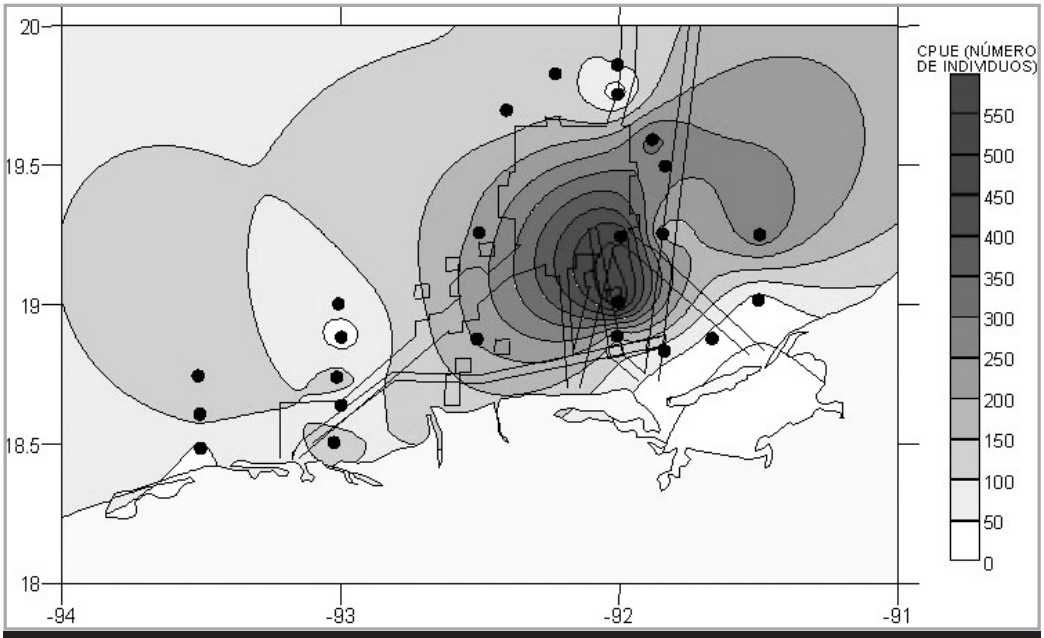


Figura 15. Distribución espacial de la captura por unidad de esfuerzo de peces durante la campaña 2001.

aleatorio, lo que tampoco permite establecer su origen (UNAM, 1999; CINVESTAV, 2000; UNAM, 2002). Resultados similares se han obtenido al enfocarse específicamente a recursos pesqueros (IMP *et al.*, 2002; CINVESTAV *et al.*, 2002).

La figura 16 muestra la distribución geográfica de hidrocarburos totales en camarón. Los valores más altos se correlacionan con las descargas del Río Usumacinta en las costas de Tabasco y un aporte secundario proveniente del Mar Caribe a través del canal de Yucatán (CINVESTAV, 2000).

Durante el crucero del 2001, los análisis indican que la concentración de los hidrocarburos policíclicos aromáticos en tejido muscular de camarón, calamar y peces fue baja. Sin embargo se detectó la presencia de compuestos de origen pirogénico como el Benzo(a)pireno, lo cual indica la influencia antropogénica en la zona de estudio. En estos mismos organismos se detectó la presencia de níquel, hierro y cobre en concentraciones moderadas y similares a las reportadas en la literatura (UNAM, 2002).

Los organismos evaluados por análisis histopatológico de tejido y vísceras efectuados en 2001 presentaron los siguientes resultados: en el músculo de los peces las fibras musculares se encontraron normales, así como el tejido conjuntivo y los vasos sanguíneos, los cuales contenían eritrocitos que no sufrieron hemólisis. Las gónadas masculinas y femeninas estaban bien conservadas, encontrándose en diferentes etapas de maduración y no presentaron alteraciones (UNAM, 2002).

En el caso del níquel, durante los trabajos realizados en el 2002, se identificó una correlación preliminar entre su concentración y registros de necrosis en branquias de camarón; aunque no es posible establecer si su origen es por fuentes naturales (chapopoteras) o producción petrolera. Para establecer esta posible relación los investigadores recomendaron la realización de pruebas de laboratorio (CINVESTAV *et al.*, 2002).

DERRAMES

La probabilidad de que ocurran derrames es un fenómeno inherente al desarrollo de las actividades petroleras mar adentro. Sin embargo, la magnitud de esta probabilidad y los recursos disponibles para su prevención, control, evaluación y remediación, dependen de una estrategia integrada con todos los recursos disponibles para ser efectivos.

El inicio de la actividad petrolera en la Sonda de Campeche enfrentó un severo impacto con el derrame originado por el descontrol del Pozo Ixtoc-1 en 1979. Otros eventos relevantes relacionados con el descontrol de pozos ocurrieron en el Abkatun-91 (1986), Yum-2 (1987), y el último en Och-B1 (1988). En este último, la contención evitó que hubiera arribazones a la costa (PEMEX, 1993). A partir de 1988 no se tienen registrados derrames de dimensiones importantes o con impactos regionales.

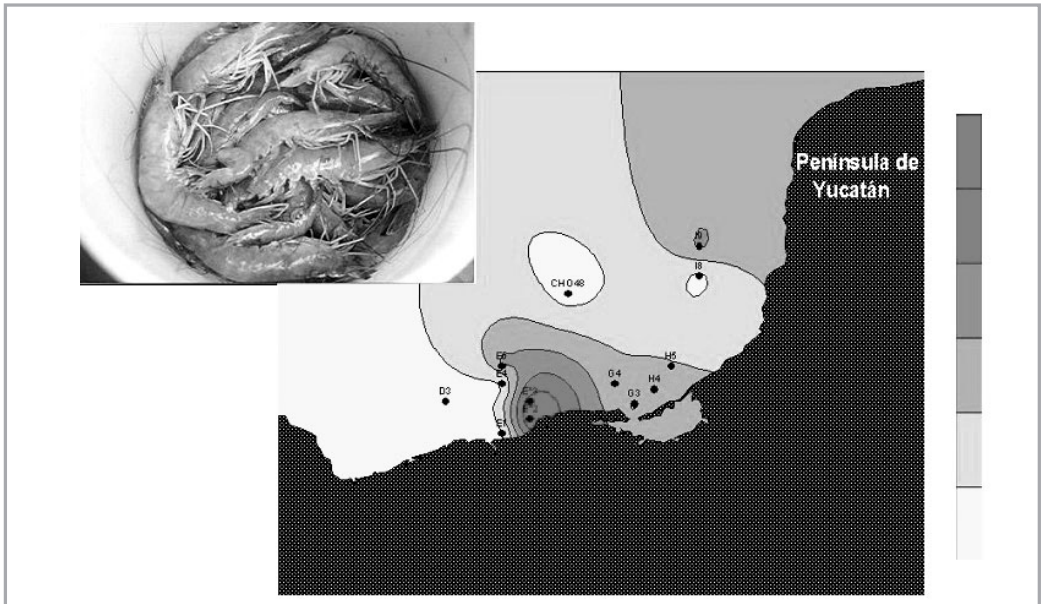


Figura 16. Distribución espacial de la concentración de hidrocarburos totales en tejido de camarón.

Una fuente adicional de aporte de hidrocarburos al mar lo constituyen las emanaciones naturales, en la región sur del Golfo de México se ha documentado la presencia de las chapopoteras con mayor actividad en todo el Golfo de México y posiblemente, una de las mayores de ambientes marinos. La figura 17 muestra la magnitud de las emanaciones de aceite de la chapopotera de Cantarell, la cual presenta actividad de pulsos intermitentes que son observables durante la mayor parte del año.

A nivel mundial, los aportes de hidrocarburos a los océanos provienen de diferentes fuentes, de las cuales, el 2% corresponde a la actividad petrolera mar adentro. La figura 18 muestra la estimación de los aportes por fuente (SEMAR, 2003).

En lo correspondiente a la identificación de posibles derrames en la Sonda de Campeche, desde los años ochenta se instituyó el programa de verificación y limpieza de costas, al cual se integró a partir del 1998 una supervisión aérea conjunta entre personal de PEMEX y autoridades de la PROFEPA y SEMAR. A partir del año 2000, este programa de sobrevuelos se realiza sistemáticamente en forma quincenal; en el caso de avisos de pescadores o autoridades sobre manchas o arribazones también se incluyen sobrevuelos adicionales.

Para la evaluación de los efectos ambientales derivados de derrames, PEMEX desarrolló con la participación de instituciones académicas la realización de campañas oceanográficas de seguimiento. Los resultados muestran una recuperación a corto plazo de las condiciones del medio marino, como lo mostró el plancton aun en casos excepcionales con el del Ixtoc-1 (IMP *et al*., 2002). Aspectos más amplios y recientes sobre la calidad del medio marino se abordaron en la sección de agua, sedimentos y organismos de este capítulo.

Con el objeto de apoyar los trabajos de monitoreo, control y evaluación de derrames durante los últimos cinco años, se ha priorizado la aplicación de nuevas tecnologías, relacionadas con la aplicación de sensores remotos, Sistemas de Información Geográfico y simuladores de derrames. A través del procesamiento de imágenes Landsat se ha dispuesto de una clasificación de uso de suelo costero al sur del Golfo de México con el objeto de identificar la vegetación sensible a eventos de derrames, como es el caso del manglar (Fig. 19).

Esta información sirve de base para el desarrollo de mapas con Indices de Sensibilidad Ambiental (ISA) en forma conjunta con la V Zona Naval de la SEMAR. Los mapas ISA fueron desarrollados originalmente por la Agencia Nacional de Oceanografía y Atmósfera de los Estados Unidos. (NOAA, por sus siglas en inglés) y actualmente se han convertido en un estándar internacional de fácil lectura que permiten la toma de decisiones sobre prioridades de protección y limpieza por derrames (Araujo *et al,* 2002). La información que muestran incluye las características de la línea costera, recursos biológicos y humanos con base en los cuales se establecen al menos 10 categorías (NOAA, 2002). La figura 20 muestra los resultados de un mapa piloto con cobertura al Área de Protección de Flora y Fauna "Laguna de Términos".

En materia de simulación de derrames se han desarrollado aplicaciones progresivas de modelos con software adaptado a condiciones del Golfo de México[4], lo que permite la simulación de trayecto-

Figura 17. Fotografía aérea de la Chapopotera de Cantarell.

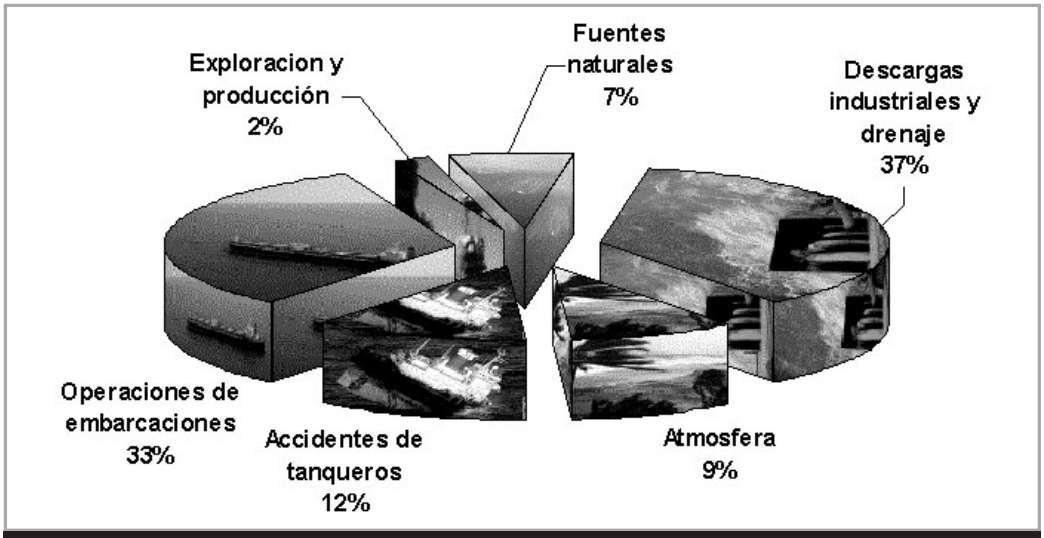


Figura 18. Aportes de hidrocarburos a los océanos (SEMAR, 2003).

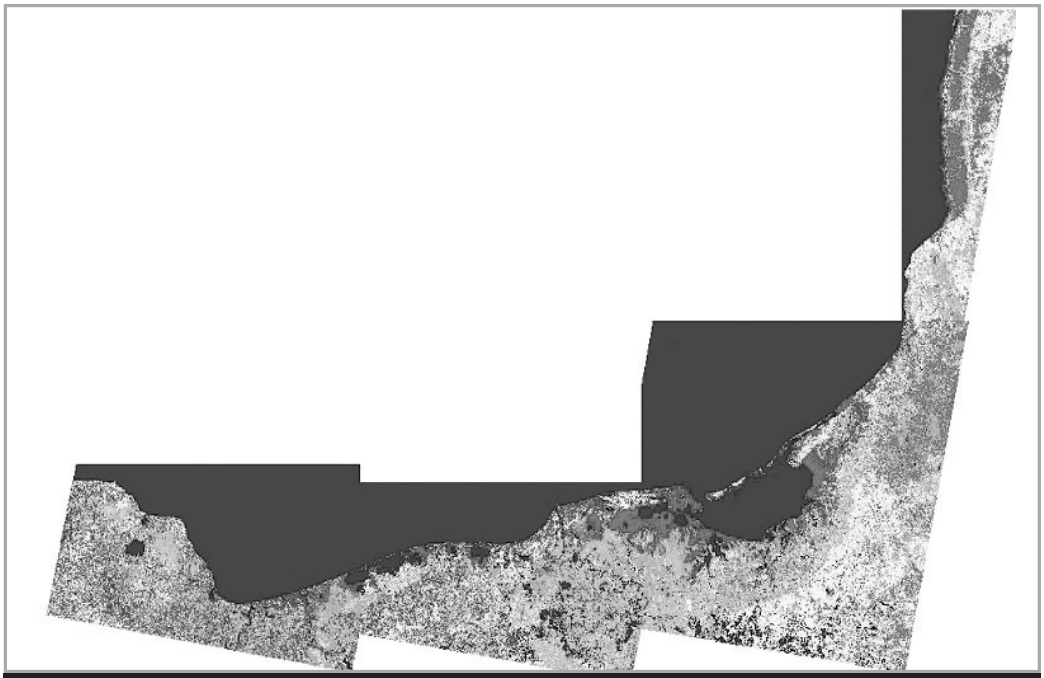


Figura 19. Mosaico de imágenes Landsat para la clasificación del uso de suelo costero .

rias como apoyo para la identificación del origen de manchas o arribazones, preparación de programas de respuesta y como complemento para la evaluación de eventos. La figura 21 muestra un modelo estocástico que presenta las cinco trayectorias más probables de una mancha proveniente de la chapopotera de Cantarell, bajo las condiciones de la temporada de Nortes (diciembre a febrero), que es cuando se incrementa la probabilidad de contacto en costa por arribazones.

En el caso de que exista presencia de hidrocarburos en agua, playa y organismos se han instrumentado análisis geoquímicos enfocados a la caracterización detallada de hidrocarburos y metales pesados. Los resultados de laboratorio son complementados con técnicas de análisis de estadística multivariada para determinar su origen. Esta información se utiliza en forma complementaria para establecer causas y responsabilidades ante eventos.

[4] Spill Model Analysis Package (SIMAP), v.4.3, Applied Science Associates, Inc.

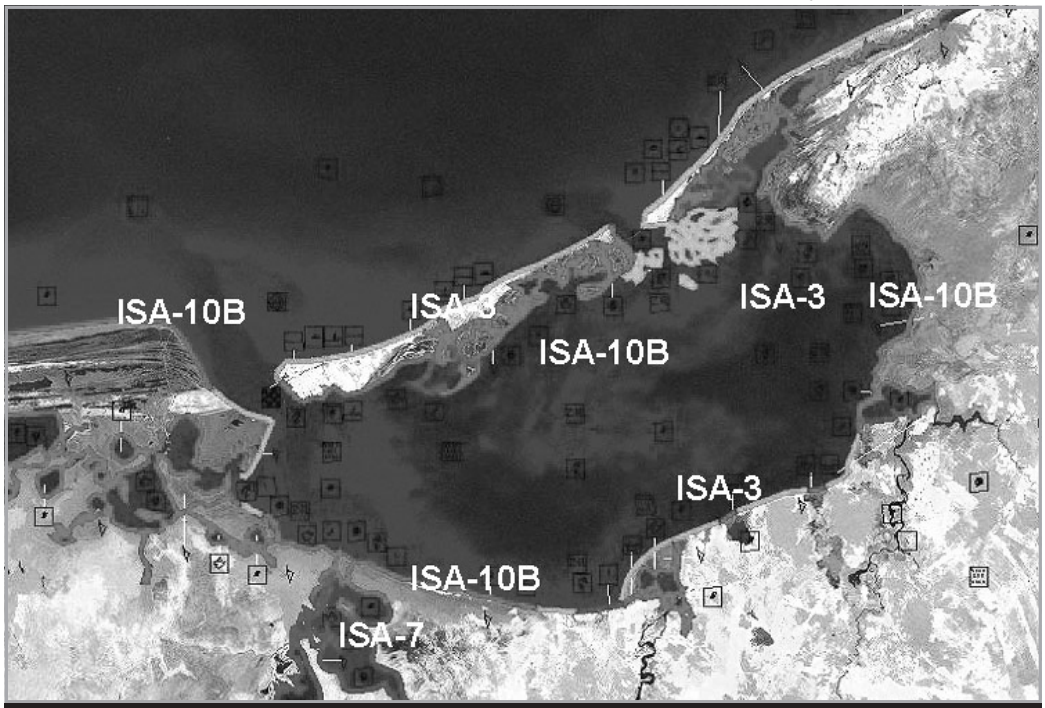


Figura 20. Mapa piloto de Indice de Sensibilidad Ambiental para derrames

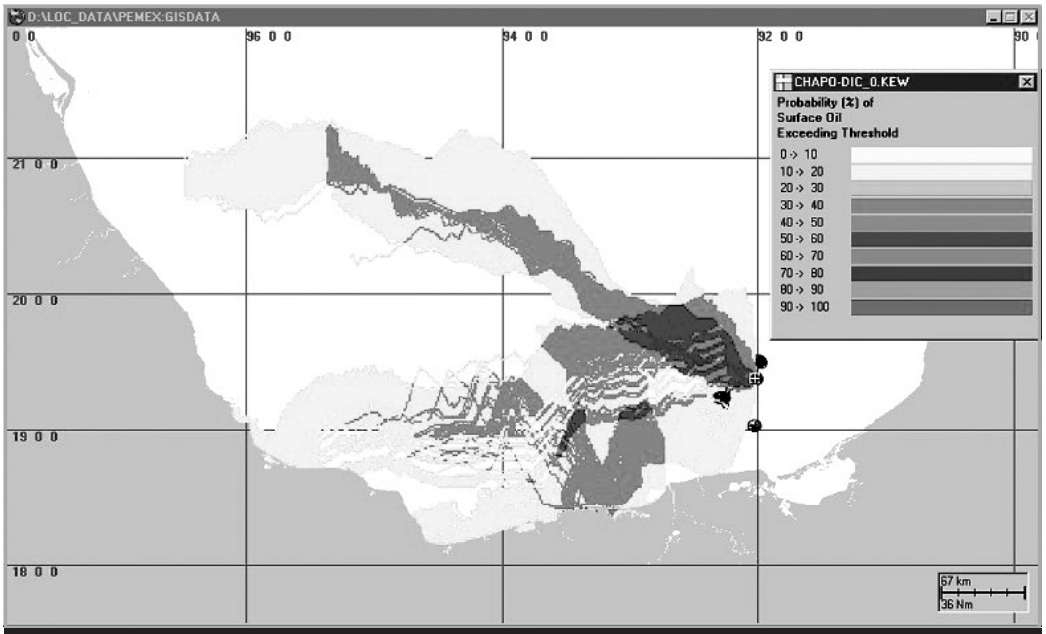


Figura 21. Modelación estocástica en temporada de nortes para identificar las áreas con probabilidad de arribazón de aceite de la chapopotera de Cantarell .

Lecciones Aprendidas

La actividad petrolera es considerada internacionalmente como riesgosa, particularmente por las posibles implicaciones de accidentes que generan la liberación de grandes volúmenes de hidrocarburos. La percepción clara de los riesgos potenciales en cada sitio es parte fundamental para la instrumentación de medidas de prevención y control, las cuales deben contar con un soporte de información científica y técnica actualizadas para asegurar la mejor toma de decisiones.

PEP en la Sonda de Campeche cuenta actualmente con instrumentos de evaluación para el monitoreo ambiental de sus actividades. Los procesos de atención reactiva ante reclamaciones donde se requería información científica que permitiera evaluar el impacto de algunos eventos se ha transformado en programas preventivos de reducción de impactos, así como de monitoreo sistemático que permiten soportar con argumentos técnicos la ausencia de impactos significativos sobre la población, ambiente o recursos de importancia económica.

El programa de monitoreo ambiental oceanográfico actualmente representa el registro reciente más robusto de la calidad del ambiente marino al sur del Golfo de México, incorporando progresivamente mayor cobertura, más variables ambientales y mejores tecnologías de análisis.

La información científica y técnica de las condiciones ambientales del entorno, generada en su mayoría por el sector académico nacional, reflejan que a pesar de la percepción popular de que las actividades petroleras pudieran tener efectos negativos o riesgos ambientales inherentes, es evidente que existe una reducción continua en los aportes de emisiones contaminantes, lo que junto con las condiciones ambientales propias del medio marino y costero del Sur del Golfo de México, permiten asegurar la ausencia de riesgos ambientales significativos o de carácter regional. Los impactos registrados se circunscriben a áreas de influencia puntual alrededor de las instalaciones marinas y costeras, con características similares a otros registros internacionales.

Los resultados también muestran tendencias que reflejan una mejora palpable en las prácticas actuales de las actividades petroleras mar adentro; lo cual a pesar de tener incrementos significativos en infraestructura y producción, muestra que los parámetros más relevantes de referencia, tales como hidrocarburos o metales pesados, no registran incrementos o incluso tienen tendencias decrecientes.

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

El monitoreo ambiental de la actividad petrolera en la Sonda de Campeche busca consolidar la base de datos actual sobre el estatus del ambiente marino y costero, incorporando nuevas tecnologías y herramientas para discriminar con precisión el origen de compuestos tóxicos en el agua, sedimento y organismos, establecer las condiciones reales de riesgo toxicológico por exposición aguda o crónica hacia contaminantes petrogénicos, mejorar la cobertura espacial y temporal del monitoreo oceanográfico consolidando la aplicación de sensores remotos, y fortalecer criterios científicos para la evaluación económica de impactos potenciales al medio ambiente, entre otros temas relevantes.

Para lograr todo esto, es necesario fortalecer alianzas estratégicas de la industria petrolera con el sector académico en el desarrollo de investigación aplicada a la resolución de requerimientos ambientales y para la atención de problemáticas potenciales. Dada la connotación legal que implica su cumplimiento, se requiere que la percepción de la academia trascienda hacia un esquema de servicios, donde se brinden respuestas a problemas específicos en los que la calidad de los resultados sea tan valiosa como la oportunidad en su entrega.

La experiencia acumulada en la gestión y desarrollo de investigación ambiental muestra también la necesidad de estimular la realización de foros de discusión técnica que permitan la integración de bases de datos en la región, consolidando esquemas básicos de muestreo y análisis que permitan la evaluación y comparación histórica de diversas fuentes.

Uno de los retos más acuciantes es el consolidar una línea base (valores de fondo) en los diferentes componentes ambientales del sur del Golfo de México, la cual permita una mayor objetividad en la evaluación de los cambios naturales y antropogénicos que se detecten en nuevas investigaciones.

Es necesario también fortalecer la divulgación de los procesos relacionados con las actividades petroleras y los controles ambientales existentes hacia el sector académico. Lo anterior permitirá asegurar una percepción más clara de sus efectos potenciales sobre el medio.

Las problemáticas ambientales normalmente tienen asociado un componente social, lo que hace necesario diferenciar los juicios de valor emitidos basándose en elementos técnicos y científicos. El componente social debe ser comprendido, pero correctamente acotado a evidencias científicas.

Finalmente, dada la importancia del acervo bibliográfico que se ha generado con los resultados de las investigaciones ambientales desarrolladas bajo la gestión de PEP constituye un reto fortalecer su divulgación. Este capítulo representa una oportunidad para alcanzar una mejor comunicación entre Petróleos Mexicanos y la comunidad científica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el impulso y apoyo para la realización de estos trabajos por parte de las áreas directivas de Seguridad Industrial y Protección Ambiental en ambas regiones marinas, en particular a los ingenieros Rodolfo Maya Sánchez, Mario Abreu Barroso, Francisco Leyva Ricárdez, Miguel Herbé Ruiz Ortega, Jorge Fernández Enríquez y Miguel A. Alonso Pérez. También agradecemos el valioso aporte de los investigadores e instituciones que con su trabajo han permitido consolidar los trabajos de monitoreo ambiental.

LITERATURA CITADA

Araujo, S.I., G.E.Da Silva, y D.C.E.Heino, 2002. Manual básico para la elaboracao de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema PETROBRAS: Ambientes costeiros e estuarinos. PETROBRAS, maio 2002. 134 p.

CINVESTAV, 2000. Reporte del proyecto Evaluación Prospectiva para el Programa de Monitoreo Continuo del Efecto Ambiental de la Actividad Petrolera en el Golfo de México-Quinta Campaña Oceanográfica Xcambo-1, CINVESTAV, Depto. de Recursos del Mar, Unidad Mérida. Noviembre-1999.

CINVESTAV, EPOMEX, UNAM, UAM, 2002. Reporte del proyecto de Impactos antropogénicos sobre el recurso camarón en la sonda de Campeche (1a etapa). Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida.

IMP, Battelle, UNAM, UAM, 2002. Evaluación de Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis General). Marzo del 2002. 256 p.

INEGI, 2000. Anuario Estadístico del Estado de Campeche. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Campeche.

Kennicutt, M.C.H., (ed.) 1994. Gulf of Mexico offshore operations monitoring experiment, Phase I: Sublethal responses to contaminant exposure. Interim Report: Year 1. OCS Study MMS 94-0005. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana. 304 p.

Montagne, P., 2003. Situación de los estudios de efectos de las actividades de exploración y producción costa afuera en el bentos. Memorias del Seminario Internacional Prácticas en las actividades de Exploración y Producción Costa Afuera. Veracruz, Ver. Abril del 2003.

NOAA, 2002. Environmental Sensitivity Maps, National Oceanographic and Atmospheric Agency, U.S.A.http://response.restoration.noaa.gov/esi/esiintro.html

PEMEX, 1993. Evaluación de la calidad del agua, sedimentos y algunos aspectos biológicos en el litoral del Golfo de México. Petróleos Mexicanos, 139 p.

SEMAR, 2003. Plan Nacional de Contingencia para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y Otras Substancias Nocivas en el Mar. Cap 1, p. 1-3. *In:* Manual para Respuesta de Derrames en el Mar, . Secretaría de Marina. Revisión 00/2003

SEMARNAP, 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, D.O.F. del 28 de enero de 1988.

UNAM, 1997a. Reporte del proyecto de Diagnóstico actual de la calidad ambiental de la zona costera del Golfo de México (Sonda de Campeche, zona costera de Atasta, Dos Bocas y sistema lagunar de Tabasco), donde se localizan las plataformas petroleras y chapopoteras. (Campañas SGM1, SGM2 y SGM3), ICMyL, Universidad Nacional Autónoma de México.

UNAM, 1997b. Instalación de 2 Sistemas Automatizados de Monitoreo Atmosférico en la Terminal Marítima dos Bocas, Tab. y en la Estación de Recomprensión de Atasta, Camp., ICMyL, Universidad Nacional Autónoma de México.

UNAM, 1999. Reporte del proyecto de Evaluación Prospectiva para el Programa de Monitoreo Continuo del Efecto Ambiental de la Actividad Petrolera en el Golfo De México. Crucero SGM-4. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

UNAM, 2002. Reporte final de la Campaña Oceanográfica No. 6, ICMyL, Universidad Nacional Autónoma de México.

UNAM, 2003. Reporte final de la Campaña oceanográfica No. 7 (SGM-7), ICMyL, Universidad Nacional Autónoma de México.

UNESCO, 1976. Guide to operational procedures for the HIGOS Pilot project on marine pollution (petroleum) monitoring. Manual and Guide. No. 7.

Yánez-Arancibia, A. y Sánchez-Gil P., 1988. Caracterización ambiental de la Sonda de Campeche frente a la Laguna de Términos, Cap. 3: 41-50. In: Yañez-Arancibia, A., y J.W. Day, Jr (Eds). Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México, la región de laguna de Términos, UNAM-OEA, México, D.F.