

## La contaminación en el Golfo: Vigilancia del medio marino

*Dos años después del conflicto del Golfo, los científicos del OIEA especializados en el medio marino continúan evaluando las graves consecuencias de la contaminación por petróleo*

por S.W. Fowler

Más de dos años después del conflicto del Golfo, los científicos continúan observando de cerca la contaminación del mar provocada por la guerra.

Después del conflicto, a principios de 1991, la descarga directa en el Golfo Pérsico de cuatro a ocho millones de barriles de petróleo crudo desde la terminal de Sea Island en Kuwait, despertó una gran preocupación a nivel mundial. Por la cantidad de petróleo derramada, ese hecho constituyó claramente el mayor de su género en la historia. La catástrofe se agudizó cuando se incendiaron los campos petrolíferos de Kuwait, que durante 250 días ardieron enviando a la atmósfera enormes columnas de humo. Según las mejores estimaciones disponibles se añadieron al Golfo unos 500 millones de barriles (67 millones de toneladas) de petróleo emitido o incinerado en forma de aerosoles, hollín, sustancias tóxicas de la combustión y gases. Aunque sólo un pequeño porcentaje de esas emisiones se depositara en el medio marino de las zonas costeras, la cifra superaría en gran medida las cantidades de petróleo crudo que realmente se derramaron. La opinión general fue que la contaminación podría extenderse más allá del Golfo.

La magnitud de la contaminación y los tipos de sustancias tóxicas que intervinieron en ella, provocaron una respuesta mundial por conducto del sistema de las Naciones Unidas. Se elaboró rápidamente un plan de acción inter-organismos con la finalidad de atender los problemas inmediatos y las posibles consecuencias de la presencia en el medio ambiente del Golfo de agentes contaminantes relacionados con la guerra. Como una de las medidas de este plan, el organismo coordinador —el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)— pidió al Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino (IAEA-MEL), emplazado en Mónaco, que ayudara a hacer una evaluación preliminar de la situación. En los estudios iniciales, el principal objetivo del Laboratorio consistió en reflejar en mapas el alcance y el grado total de la contaminación relacionada con la guerra en todo el Golfo. Para desempeñar esta labor, los científicos se basa-

ron en la amplia experiencia con que cuenta el IAEA-MEL en esa región en materia de vigilancia de los hidrocarburos y los contaminantes de metales pesados.

Desde que se realizaron los primeros estudios, los científicos del IAEA-MEL han emprendido actividades complementarias regionales en un esfuerzo continuado por obtener un panorama más claro de los efectos de la contaminación por petróleo en el medio marino del Golfo. En el presente artículo se destaca la labor del Laboratorio en el Golfo a raíz del conflicto de 1991, dentro del contexto de los programas y proyectos de cooperación.\*

### El contexto de las medidas

El Golfo Pérsico siempre ha sido vulnerable a la contaminación, principalmente por sus singulares características oceanográficas.

El Golfo es una masa de agua relativamente pequeña, poco profunda y semicerrada, bordeada por la Península Arábiga y el Irán. Su profundidad media es de sólo 35 metros y, en las zonas más profundas, ubicadas en la costa iraní, llega a tener unos 100 metros. La temperatura de las aguas superficiales del mar tiene un amplio margen de variación, que oscila entre unos 12° y 35° Celsius; sin embargo, en algunas zonas costeras y en determinadas condiciones puede alcanzar cerca de 40° Celsius. Generalmente la salinidad normal del agua de mar oscila entre 30 y 35 partes por mil; no obstante, dada la elevada tasa de evaporación de la región del Golfo, en la zona noroccidental la salinidad supera a menudo las 40 partes por mil y puede sobrepasar las 70 partes por mil en diversas lagunas de intermareas poco profundas situadas en la parte arábiga del Golfo. Tales extremos imponen una enorme tensión ambiental a las diversas especies marinas que habitan las zonas costeras y que deben servir de punto de

\* Véase también "Oil and combustion product contamination of the Gulf marine environment following the war". por J.W. Readman, S.W. Fowler, J.-P. Villeneuve, C. Cattini, B. Oregioni, y L.D. Mee, en *Nature*, 358 (1992).

El Sr. Fowler es jefe del Laboratorio de Radioecología del Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino, en Mónaco.



referencia para determinar cualesquiera otras consecuencias que se deriven de la contaminación.

La vulnerabilidad del Golfo a la contaminación, junto con el rápido desarrollo y la urbanización de la zona costera en el decenio de 1970, dio lugar a la adopción de una serie de medidas regionales en los años ochenta. Una de ellas fue el establecimiento del Plan de Acción de Kuwait (PAK), convenio regional cuyo objetivo consiste en salvaguardar el Golfo de los efectos ocasionados por la actividad del hombre. Posteriormente, a principios de 1980, el PNUMA, organismo responsable de la ejecución de un Programa de mares regionales para el Golfo dentro del marco del PAK, pidió asistencia al IAEA-MEL. Concretamente, se solicitó la participación del Laboratorio en una misión multidisciplinaria de las Naciones Unidas de tres meses de duración, destinada a evaluar las capacidades marinas de la región para examinar, estudiar y combatir la contaminación del mar. A raíz de esta evaluación, en virtud del Programa de mares regionales del PNUMA se celebró una serie de reuniones con ocho países de la zona del Golfo a fin de establecer un programa regional de vigilancia e investigación del medio marino que actuaría como centro coordinador de las actividades básicas de vigilancia de los contaminantes en cada país. Dada la falta de personal calificado para realizar análisis ambientales en Omán, Bahrein y los Emiratos Arabes Unidos (EAU), se solicitó especialmente al IAEA-MEL que prestara asistencia a esos países en la obtención de datos de referencia sobre los niveles de contaminantes presentes en las muestras ambientales (sedimentos y biota), requeridos por el programa de vigilancia regional del PAK.

Las primeras misiones trimestrales de muestreo llevadas a cabo en esos países por el IAEA-MEL comenzaron a principios de 1983 y continuaron hasta 1986. Este fue un período de rápida evolución de la conciencia ambiental en la región, que culminó con la creación de una secretaría regional para los asuntos del medio marino denominada Organización Regional para la Protección del Medio Ambiente Marino (ORPMAM). Se estableció su sede en Kuwait y se le confió la responsabilidad de ejecutar el programa del PAK, cuya supervisión había estado a cargo del PNUMA. Durante este tiempo el IAEA-MEL incrementó sus actividades de asistencia técnica en la región mediante la capacitación de personal nacional en análisis de los contaminantes, la supervisión de cursos prácticos regionales relacionados con varios aspectos de la contaminación marina, y gestión de un proyecto de garantía de la calidad. Se incluyó en el proyecto una meticulosa intercalibración de las técnicas analíticas utilizadas por las instituciones del Golfo participantes.

Durante el decenio de 1980 se acumuló una base de datos considerablemente amplia y como resultado se obtuvo un panorama mucho más claro de los niveles de contaminantes existentes, su distribución, y las

**Zona de playa y bahía típica de la costa noroccidental de Arabia Saudita, severamente contaminada por el petróleo crudo derramado durante la guerra del Golfo. A la izquierda: los científicos toman muestras de las aguas de mar superficiales en busca de hidrocarburos de petróleo en Khafji, Arabia Saudita.**

tendencias registradas en la zona costera, dentro y fuera del Estrecho de Ormuz. Asimismo, los estudios realizados en las redes regionales del PAK se consideraron útiles para determinar los posibles trastornos que produciría la contaminación generada por la guerra entre el Irán y el Iraq, como, por ejemplo, el derrame de petróleo de Nowruz.

Con la ocupación de Kuwait a finales de 1990 y el rompimiento de las hostilidades a principios de 1991, se produjo un virtual cese de las actividades regionales del PAK. No obstante, los científicos del IAEA-MEL pudieron aprovechar esa labor para preparar su evaluación de la contaminación provocada por la guerra. La estrategia básica que se seleccionó fue regresar a las mismas estaciones que se habían utilizado en años anteriores en Bahrein, los EAU y Omán, para obtener muestras similares que permitieran hacer comparaciones realistas. También se intensificó el muestreo en el sector noroccidental de las costas de Kuwait y de Arabia Saudita donde, según se había informado, el ecosistema costero corría mayor peligro como resultado del derrame de petróleo.

**Estudio de la contaminación después de la guerra**

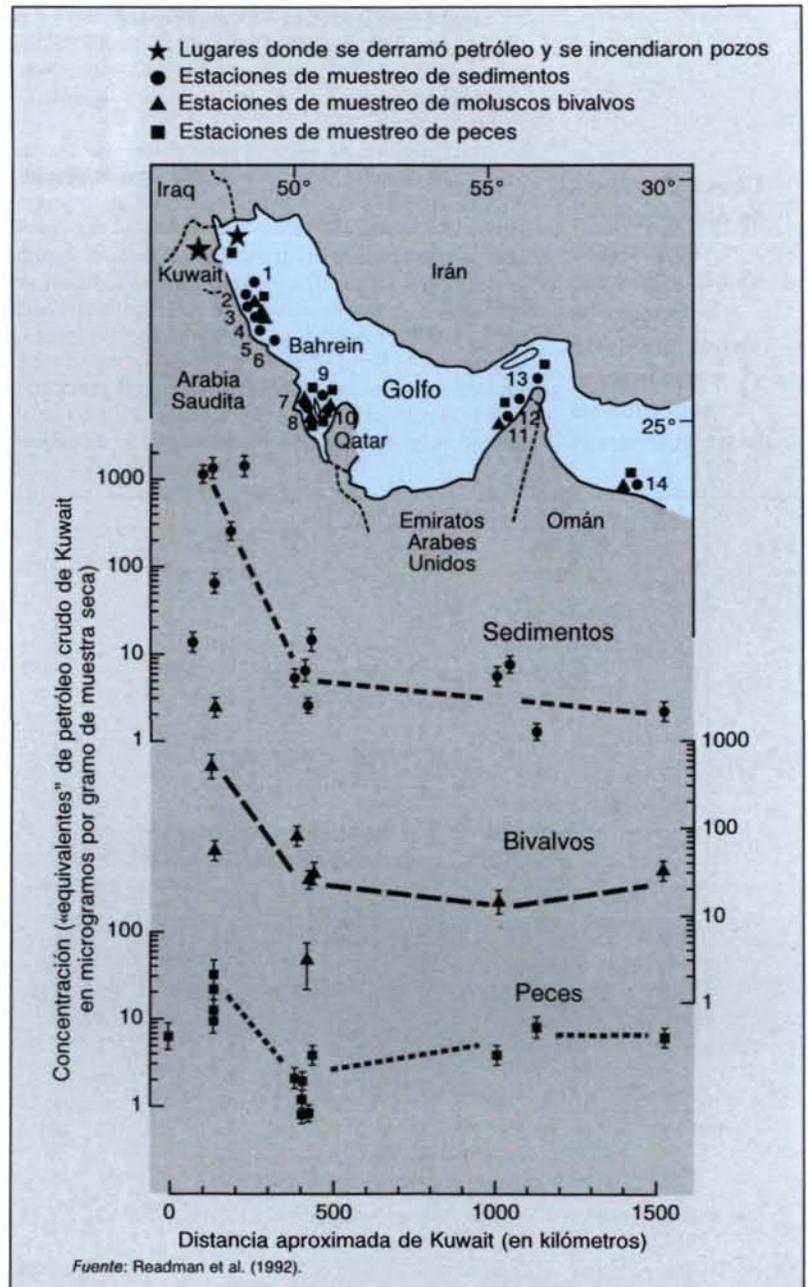
La toma de muestras sobre el terreno comenzó a realizarse en junio de 1991 y continuó periódicamente hasta el mes de octubre siguiente; esta labor se llevó a cabo con la cooperación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos Naturales y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI). Durante el mes de junio, se prohibió en Kuwait el acceso a las aguas litorales y costeras debido a la presencia de artillería y de minas sin explotar. Sin embargo, gracias al Departamento de Protección del Medio Ambiente de Kuwait fue posible llegar en helicóptero hasta una isla situada frente a las costas para examinar la playa en busca de alquitranes y tomar muestras de sedimento cerca de la costa a fin de someterlas a análisis. Además, con la ayuda de un pescador del lugar se obtuvo una muestra de pescado fresco cerca de la Ciudad de Kuwait situada aproximadamente a 20 kilómetros de la fuente del derrame de petróleo. Para tener una idea de los niveles de contaminantes del término fuente contenido en las precipitaciones de las columnas de humo, se tomaron también muestras del suelo en los alrededores de los pozos de petróleo incendiados. Por entonces sólo se había extinguido un 25% de ellos.

En Arabia Saudita, de cuyo litoral el IAEA-MEL no había tomado muestras anteriormente, la selección de las zonas de muestreo se basó en estudios previos llevados a cabo en el país, así como en las consecuencias visibles de la presencia de petróleo en las playas de la región. En el sector septentrional de Arabia Saudita donde ocurrían fuertes precipitaciones de las columnas de humo, se recogieron trabajosamente los pocos micrones de la superficie del agua de mar que constituyen la "microcapa superficial o MCS" utilizando una técnica de adhesión a placa de vidrio. En Bahrein, los EAU y Omán, los grupos de científicos regresaron a las zonas estudiadas desde 1983 con objeto de obtener muestras de

los mismos sedimentos y poblaciones de organismos para fines de comparación.

Como es característico de otros programas de vigilancia de contaminantes emprendidos en todo el mundo, la evaluación del Golfo se centró en los moluscos bivalvos que se consideran excelentes bio-indicadores de los contaminantes metálicos y de los hidrocarburos, y en especies comunes de pescado de mucho consumo en esos países. Entre los moluscos figuraron almejas de la zona septentrional, ostras perlíferas y conchas de los arrecifes de la región central, así como ostras de los arrecifes de la costa de Omán. Los peces obtenidos fueron principalmente especies de cherna y brema que habitan comúnmente en toda esa región. Las ostras y los peces fueron disecados en el terreno y los tejidos se almacenaron en congelación hasta que fueron

**Concentraciones de hidrocarburos del petróleo en las muestras obtenidas en el Golfo**



analizados. Además, se tomaron muestras de sedimento cerca de las costas mediante buceo o desde un bote, utilizando un pequeño gancho especial. Todos los materiales fueron procesados y analizados en el IAEA-MEL de Mónaco por los mismos analistas, empleando metodologías de años anteriores.

Durante un recorrido en helicóptero por la costa sur de Kuwait, realizado en junio, se observaron muchas manchas de aceite en el agua, especialmente cerca de las terminales que habían sufrido daños. Sin embargo, salvo en el caso de algunas capas de aceite que llegaron a la costa, las playas situadas aguas abajo de la terminal de Sea Island parecían estar relativamente limpias. Resultó sorprendente que en los estudios de los grumos de alquitrán hallados en la isla de Qaruh, situada frente a la costa, se encontraron niveles (aproximadamente 380 gramos por metro de playa) similares a los registrados durante los estudios realizados en Kuwait y otros Estados del Golfo antes de la guerra. Esto indicó que los derrames de petróleo en gran escala ocurridos en zonas cercanas no habían provocado trastornos específicamente en esta región.

Muchas zonas de la parte norte central del litoral de Arabia Saudita se vieron gravemente afectadas por el petróleo. En Khafji, cerca de la frontera kuwaití, la contaminación atmosférica fue muy severa y se observaron grandes cantidades de hollín grasiento en las aguas costeras. Como resultado se produjeron concentraciones de hidrocarburos del petróleo extremadamente altas, de 18 000 microgramos por litro, en la microcapa superficial. Incluso las aguas subsuperficiales de ese lugar contenían más petróleo (260 microgramos por litro) que el que se había encontrado en otras aguas del Golfo

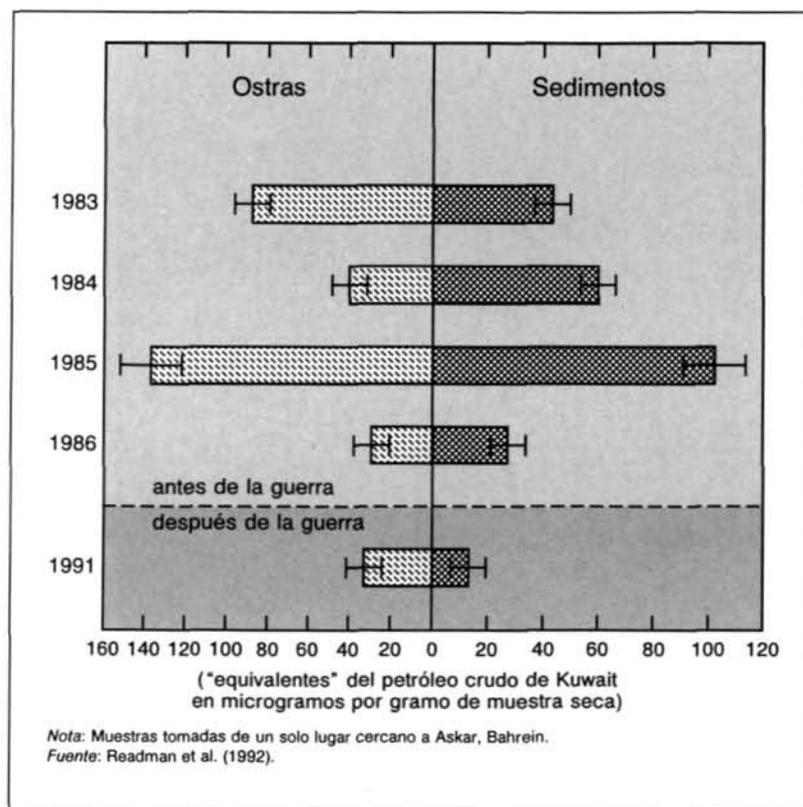
según el resultado de mediciones realizadas previamente. Más al sur, a lo largo de la costa, en la Bahía de Manifa, los niveles de la MCS disminuyeron en dos órdenes a cerca de 200 microgramos por litro. Fuera de este sector de la costa, en las playas estudiadas se observó muy poco petróleo y alquitrán frescos, o ninguno.

Para obtener un panorama amplio de las posibles consecuencias de la contaminación provocada por la guerra, se representaron en un mapa de la región del Golfo completa todos los datos de los estudios realizados sobre hidrocarburos del petróleo. (Véase el mapa.) Los análisis de los sedimentos y los moluscos bivalvos demostraron claramente que la principal contaminación por petróleo se limitó al litoral de Arabia Saudita dentro de una extensión aproximada de 400 kilómetros a partir de la fuente ubicada en la terminal de Sea Island. Los demás lugares no comprendidos en esta zona, incluida la región de Muscat en las costas del Océano Índico en Omán, mostraron niveles de contaminación similares, relativamente bajos. Esta tendencia de la distribución de contaminantes se observa con mayor claridad en las muestras de sedimento, aunque está reflejada en los datos de los moluscos bivalvos que muestran también una disminución general de la contaminación según la distancia de la zona afectada. Si bien las muestras de peces tomadas en las zonas ubicadas más al norte presentaron concentraciones marginalmente elevadas, su nivel de contaminación relativo fue inferior al de los moluscos bivalvos.

Si se toma en consideración la zona no comprendida en los lugares directamente afectados de Kuwait y Arabia Saudita, el nivel relativo de contaminación por petróleo a causa de la guerra puede evaluarse mediante una comparación con los datos obtenidos por el IAEA-MEL en años anteriores. Por ejemplo, en un lugar de muestreo cercano a Askar (Bahrein) y no muy lejano de la zona más afectada por el petróleo, la contaminación por hidrocarburos era similar o inferior a la registrada en las mediciones hechas en el decenio de 1980. (Véase el gráfico.) Es importante señalar que en la parte norte del Golfo las actividades de producción y transporte de petróleo aportan un nivel "normal" de contaminación por petróleo que alcanza una cifra media de 2 millones de barriles de petróleo anuales, lo que equivale a la mitad de la cantidad derramada durante el conflicto. Dada la disminución drástica de esas actividades durante el período comprendido entre finales de 1990 y principios de 1991, los bajos niveles de hidrocarburos de petróleo registrados en el estudio de mediados de 1991 probablemente fueron el resultado de una reducción crónica de los aportes a la contaminación en ese período.

En un intento por conocer más acerca de la condición del petróleo y su posible toxicidad, se emprendieron varios análisis concretos de cromatografía en fase gaseosa y de espectrometría de masa. El petróleo es una mezcla de muchos miles de distintos compuestos que tienen diferentes propiedades químicas y que, al entrar en contacto con el agua de mar en un derrame, quedan sometidos a diferentes grados de alteración por exposición a la intemperie. Básicamente, los efectos de la solubilización y la biodegradación reducen rápidamente las concentraciones de estos diversos compuestos. Aunque el estudio se

**Concentraciones de hidrocarburos de petróleo en una muestra compuesta de ostras períferas y sedimentos superficiales de las submareas**



realizó transcurridos sólo algunos meses del derrame de petróleo, el análisis de la proporción de los principales compuestos presentes en los sedimentos indicó que la mayor parte del petróleo derramado se había degradado sustancialmente. Las altas temperaturas y la elevada degradación microbiana pueden haber sido la causa de las rápidas alteraciones por la exposición a la intemperie que se observaron.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos tóxicos (compuestos HAP) fueron los principales constituyentes aromáticos que se detectaron en las muestras estudiadas. Los HAP como el pireno, se asocian con la combustión y pudieron haber emanado de los pozos de petróleo incendiados. No obstante, las concentraciones observadas en los sedimentos obtenidos en el Golfo (3 a 450 nanogramos por gramo de peso seco) coincidían con las concentraciones notificadas en otras zonas costeras como la Bahía de Buzzards y la Ensenada de Nueva York en los Estados Unidos (7 a 1300 nanogramos por gramo de peso seco), y los estuarios del Reino Unido (60 a 1510 nanogramos por gramo de peso seco). Además, el valor medio de los sedimentos del Golfo (12,5 nanogramos por gramo de peso seco) fue algo inferior al valor registrado en un estudio de igual alcance y dedicado al mismo tipo de sedimento que se realizó en el Mar Báltico meridional (72,5 nanogramos por gramo de peso seco con una variación de 1,7 a 150 nanogramos por gramo de peso seco).

Por consiguiente, según los estudios iniciales, parece que los HAP procedentes de los pozos de petróleo en combustión no contaminaron seriamente las zonas costeras del Golfo.

Muchas de las muestras recogidas durante el estudio de 1991 son objeto de examen mediante otras técnicas analíticas nucleares y no nucleares para descubrir posibles contaminantes. Por ejemplo, se han analizado una serie de metales pesados relacionados con el petróleo, incluidos el níquel, el vanadio y el plomo, mediante la espectrometría de masa de plasma acoplado por inducción (ICP-MS). En algunas muestras de suelo tomadas en los campos petrolíferos se observó una covariación entre el contenido de vanadio y el de hidrocarburos; sin embargo, en las muestras recogidas en la zona costera, incluso en Kuwait cerca de los pozos incendiados, los niveles de metal registrados no sugirieron ningún efecto provocado por las precipitaciones provenientes de los fuegos. Dado que los radionucleidos naturales como el polonio 210 se enriquecen también en el petróleo crudo, se procedió a su análisis en peces y moluscos bivalvos obtenidos en la región. Los niveles de polonio 210 registrados eran similares a los de las concentraciones halladas tradicionalmente en peces y mariscos costeros de otras zonas marinas; por lo tanto, no mostraron indicios de una seria contaminación derivada de la combustión o del derrame de petróleo.

Las proporciones de la catástrofe ambiental ocurrida en el Golfo pusieron de relieve la necesidad de poder identificar el petróleo en condiciones normales a fin de aprender algo sobre el origen de los derrames. Por consiguiente, como los resultados de investigaciones previas han demostrado que el petróleo contiene una amplia variedad de vestigios de isótopos estables, que se diferencian considerablemente de los presentes en el medio marino

actual, se analizaron muestras seleccionadas en busca de isótopos ligeros estables con miras a examinar sus posibilidades para detectar, cuantificar e identificar el petróleo contenido en el agua de mar. La variedad de los tipos de muestras se reflejó claramente en las variaciones registradas en los vestigios de los diferentes isótopos. Se encontraron correlaciones relativamente fuertes entre los diversos isótopos, particularmente entre el azufre 34 y el deuterio contenido en las muestras de petróleo crudo de Kuwait. Además, se observaron tendencias significativas entre el contenido de deuterio y de hidrocarburo de las arenas del desierto y entre el nitrógeno 15 y el petróleo de las muestras de biota.

Con todo, el número de muestras examinadas fue limitado y es preciso analizar muchas más antes de hacer una interpretación definitiva de estas tendencias. Se proyecta realizar un examen ulterior de estas tendencias isotópicas en cooperación con científicos del Instituto Japonés de Investigaciones sobre la Energía Atómica.

### Actividades complementarias

Evidentemente, cuando la contaminación alcanza tales proporciones, debe someterse a exámenes más minuciosos antes de llegar a conclusiones definitivas sobre los efectos a largo plazo para la región. Durante la primera mitad de 1992 se realizó una travesía oceanográfica de tres meses a bordo del buque *Mt. Mitchell* con la finalidad de investigar aún más las consecuencias de los derrames de petróleo de 1991; el estudio se llevó a cabo bajo los auspicios de la ORPMAM, en cooperación con la COI, el Organismo Nacional del Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos y el PNUMA. Esta travesía multidisciplinaria contó con la participación de más de 140 científicos de la región y extranjeros.

En agosto de 1992, el IAEA-MEL realizó un estudio complementario sobre la contaminación en la zona costera de Kuwait y Arabia Saudita en colaboración con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos Naturales, la COI y la ORPMAM. El equipo regresó a las zonas más afectadas con objeto de examinar nuevamente los lugares estudiados en 1991 para observar los cambios en los niveles de contaminantes que habieran ocurrido en los 12 meses anteriores. Actualmente el IAEA-MEL se dedica a analizar unas 60 muestras de sedimento, biota y agua de mar tomadas en 12 estaciones. Aunque las evaluaciones de las tendencias temporales deben esperar por el resultado de estos análisis críticos, según las observaciones visuales hechas en las zonas más severamente contaminadas, pareció haber menos alquitrán y petróleo que el año anterior en la zona cercana a la costa. Esta mejoría se atribuye principalmente a la degradación y al enterramiento provocado por el desplazamiento de la arena y el sedimento.

Ahora bien, no cabe duda de que tendrán que pasar muchos años para que la zona costera de esta región quede libre de la contaminación por petróleo derivada de la guerra. En virtud del actual proyecto de cooperación ORPMAM-OIEA, los científicos del IAEA-MEL continuarán observando de cerca la situación de la contaminación del mar en el Golfo.