

Plaguicidas en los medios marinos tropicales: Evaluación de su destino final

En proyectos basados en técnicas nucleares que se ejecutan en México y otros países se investigan los efectos de los plaguicidas en los ecosistemas acuáticos

por F.P. Carvalho
y R.J. Hance

Si bien los pronósticos de las tendencias económicas y demográficas son notoriamente polémicos, parece haber un amplio consenso respecto de que en el año 2050 habrá que abastecer de alimentos a unos 11 000 millones de personas, cifra casi dos veces superior a la registrada en 1990. Al mismo tiempo, la disponibilidad de tierras labrantías disminuirá de resultas de la urbanización, la erosión y la desertificación. Se ha pronosticado que la superficie cultivable por persona, que era de 0,3 hectáreas en 1981, se reducirá a 0,22 hectáreas en el año 2000 y a 0,13 hectáreas en el 2050.

Parece casi seguro que los plaguicidas seguirán siendo un componente indispensable de muchos sistemas agrícolas. Aunque se calcula que las plagas de insectos por sí solas aún destruyen alrededor de la tercera parte de los cultivos en el mundo, probablemente los rendimientos experimentarían una reducción adicional del 30% al 75% si no se aplican productos químicos para proteger las cosechas. Por tanto, no es motivo de sorpresa que el consumo de plaguicidas a nivel mundial esté en el orden de los cinco millones de toneladas al año y su valor ascienda a 26 mil millones de dólares de los EE UU.

No hay dudas de que el empleo de los productos agroquímicos se irá perfeccionando con una mayor aplicación de las diversas estrategias biológicas y culturales, pero resulta difícil prever su desaparición. Menos seguro es determinar si la actual diversidad de materiales y usos se mantendrá en los países desarrollados. (*Véanse los gráficos de la página 17.*) Parece improbable que los utilizados en los países en

desarrollo cambien en breve, sencillamente por razones de costo.

Preocupaciones por el medio ambiente y la salud

A diferencia de muchos otros productos químicos que se consideran contaminantes ambientales, los plaguicidas son introducidos deliberadamente en el medio ambiente y se fabrican para exterminar a uno u otro organismo. La falta de especificidad de algunos plaguicidas y su irresponsable uso en algunas regiones han producido efectos secundarios no deseados.

El DDT fue el primer plaguicida que provocó una amplia publicidad de los efectos de esos productos en organismos útiles. El principal efecto pernicioso del DDT y otros plaguicidas organoclorados (OC) es que reducen la capacidad reproductiva de las aves. El DDT puede reducir el grosor de la cáscara de los huevos en varias especies de manera que la capacidad para incubar disminuye en una medida suficiente para provocar el decrecimiento de las poblaciones. En cambio, el principal efecto de los plaguicidas organofosforados (OP), y en menor medida los carbamatos, ha sido la mortalidad directa. El mecanismo de acción de esos insecticidas es inhibir la actividad de la acetilcolinesterasa, lo cual altera la función nerviosa y ocasiona finalmente la muerte.

Cualquiera que sea su mecanismo de acción, al destruir o reducir significativamente las poblaciones de algunas especies los plaguicidas pueden alterar la estructura (riqueza de las especies, densidad biológica y diversidad) y las actividades funcionales de un ecosistema. Un cambio particularmente inquietante es el que se produce cuando alguna especie depredadora se ve afectada de tal modo que las poblaciones de sus presas se multiplican sin control.

Aunque la presencia de estos productos químicos en el medio ambiente quizás sea más frecuente en las zonas de fabricación y aplicación, en los últimos años han aumentado rápidamente los informes sobre

El Sr. Carvalho es funcionario del laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino, en el Principado de Mónaco, y el Sr. Hance es Jefe de la Sección de Residuos y Productos Agroquímicos de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentación, en la sede del OIEA en Viena.



A la izquierda: Especialistas en ciencias marinas del IAEA-MEL realizan estudios experimentales sobre el comportamiento de los plaguicidas en una laguna tropical en América Central. **Abajo:** Abundancia de peces en las aguas del litoral de la isla Malpelo cerca de Colombia. (Cortesía: IAEA-MEL; Aldo Brando, Bogotá.)



concentraciones significativas de residuos de plaguicidas en casi todas las regiones. Se han detectado trazas de plaguicidas en la atmósfera, las aguas pluviales, las aguas subterráneas y superficiales, los suelos y los alimentos. A causa del generalizado uso de los plaguicidas, la mayoría de las poblaciones humanas ingieren una dosis crónica de plaguicidas en bajas concentraciones con los alimentos y el agua. Es casi imposible evaluar los efectos potenciales de esa exposición continua de las personas porque las cantidades son muy pequeñas y el número de permutaciones y combinaciones de compuestos es elevado. Como se ha observado que algunos de esos compuestos producen efectos crónicos en los animales de laboratorio, aunque sometidos a niveles de exposición superiores en varios órdenes de magnitud, existen motivos de preocupación.

Mejor ordenación del medio ambiente

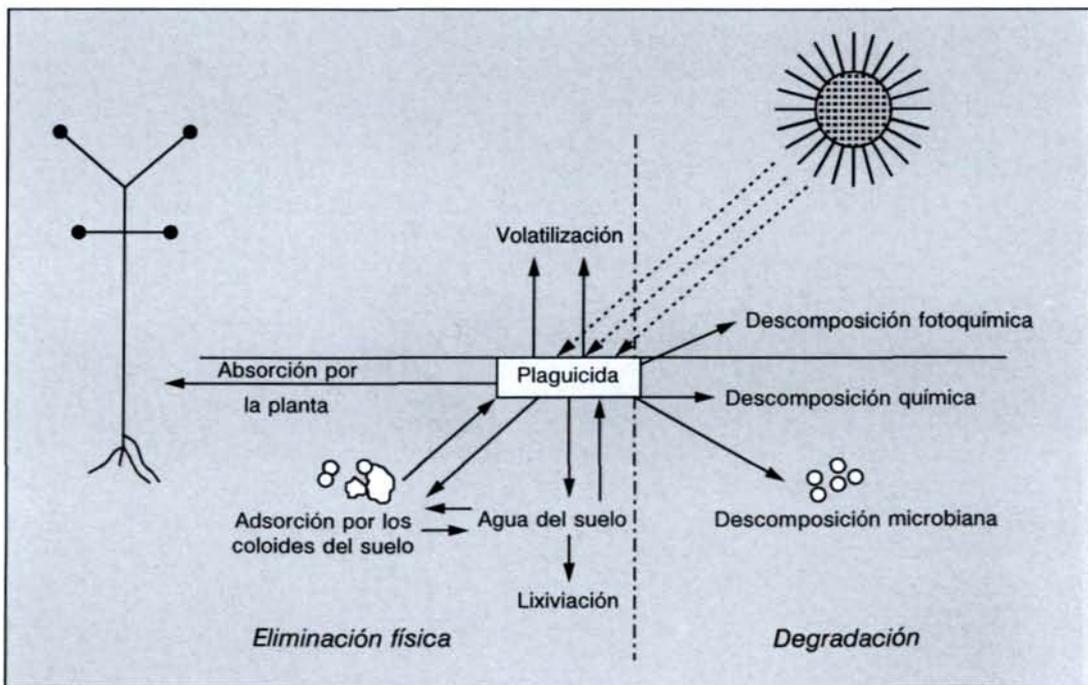
Si bien es necesario proteger los cultivos de las enfermedades, los insectos y las malas hierbas, la humanidad no puede sobrevivir sólo con plantas y animales domésticos. La biota del medio natural abarca probablemente entre 5 y 10 millones de especies que intervienen en una variedad de actividades esenciales, como por ejemplo, el reciclado de materiales orgánicos e inorgánicos, la estabilización del suelo, la purificación de los recursos hídricos, la conservación de flujos energéticos en los ecosistemas, la polinización de los cultivos y la vegetación natural y la estabilización del clima. A causa de esas actividades, la mayor parte de estas especies, si no todas, son indispensables para el mantenimiento de la calidad ambiental y la supervivencia de la vida en la Tierra. El uso indebido de productos agroquímicos puede poner en peligro a muchas especies y, por ende, atentar contra la preservación de los ecosis-

temas funcionales. Además, el mal empleo de los plaguicidas puede entrañar incluso una amenaza directa para la salud pública, de ahí la necesidad urgente de hacer un uso más racional de esas sustancias.

El envenenamiento agudo de las personas, salvo en el caso de los suicidios, se circunscribe en gran medida a los trabajadores rurales y generalmente obedece a la exposición mientras se mezclan o aplican plaguicidas. Según una estimación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), anualmente ocurren un millón de envenenamientos ocupacionales, de los cuales 20 000 son fatales. Esto se puede evitar en gran medida con un mejor cumplimiento de las recomendaciones relativas a la manipulación segura, lo cual requiere programas de información y educación profesional más apropiados así como que se ejerza presión al respecto sobre los patronos. La mayoría de los países cuentan ya con legislación en esta materia, vigente o en examen. Generalmente, esas leyes contienen también disposiciones relativas a la vigilancia de los residuos de plaguicidas en los alimentos y al control del empleo de plaguicidas en la agricultura.

El uso controlado no sólo aseguraría la inocuidad de los alimentos, sino que también evitaría la difusión ambiental de residuos de plaguicidas. Lamentablemente, muchos países en desarrollo carecen de recursos para poner en vigor leyes relacionadas con los plaguicidas, por lo que esos objetivos, aunque son admirables, aún no se pueden alcanzar en todas partes. Estimulados por el aumento del rendimiento de las cosechas como resultado del uso de plaguicidas, muchos pequeños propietarios aplican dichos productos en cantidades excesivas con la vana esperanza de aumentar aún más la producción. Una de las consecuencias que esto acarrea es la llegada de cantidades considerables de plaguicidas a los ríos y, por ende, al mar.

Procesos que actúan sobre los productos químicos orgánicos en el medio ambiente



Plaguicidas en el medio marino

En la primera generación de plaguicidas, introducidos hace más de 40 años, figuraban compuestos organoclorados (OC), como el DDT, la dieldrina, y el toxafeno. Según las últimas normas su persistencia en el medio ambiente es inaceptable, pero cuando fueron introducidos esa propiedad se consideraba ventajosa. Por lo tanto, se ha operado un cambio en el uso de estos compuestos, ya que ahora están prohibidos o rigurosamente restringidos en muchos países.

Los compuestos organofosforados (OP), como el paratión, el malatión y el clorpirifos, conjuntamente con los compuestos de carbamato y piretroideos, han reemplazado gradualmente a los plaguicidas OC. En la red comercial se pueden adquirir unos 100 compuestos OP.

En general, los plaguicidas OP son más tóxicos para los mamíferos y los invertebrados que los OC, pero persisten menos en el medio ambiente. Con todo, cada sustancia tiene un comportamiento determinado. Aunque se sabe que la persistencia en el medio ambiente depende de las condiciones de éste —como la luz, la humedad, la acidez y la actividad microbiana, todo lo cual puede contribuir a la descomposición de un compuesto— en muchos casos se desconoce el papel exacto de esos factores y sus interacciones. Los efectos de estas sustancias sobre los organismos útiles, su acumulación por la biota o su transferencia a los niveles tróficos superiores de la cadena alimentaria también se conocen de forma general. Sin embargo, los pronósticos para situaciones específicas pueden ser inciertos.

Existen indicios de que los compuestos OP son suficientemente persistentes para alcanzar el medio marino en concentraciones lo bastante elevadas para afectar la fauna y la flora acuáticas. En concentraciones muy bajas (niveles de nanogramo a micro-

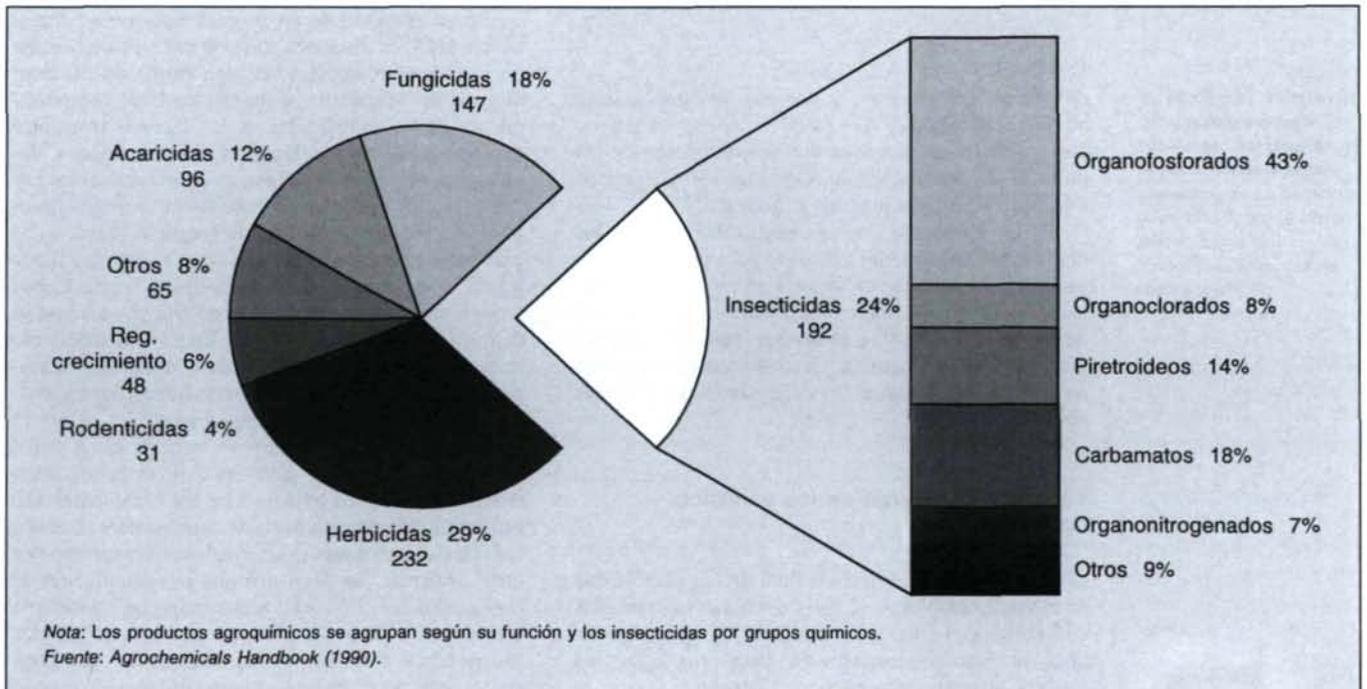
gramo por litro) son tóxicos para los animales invertebrados y vertebrados acuáticos. Los camarones y los peces son especialmente vulnerables.

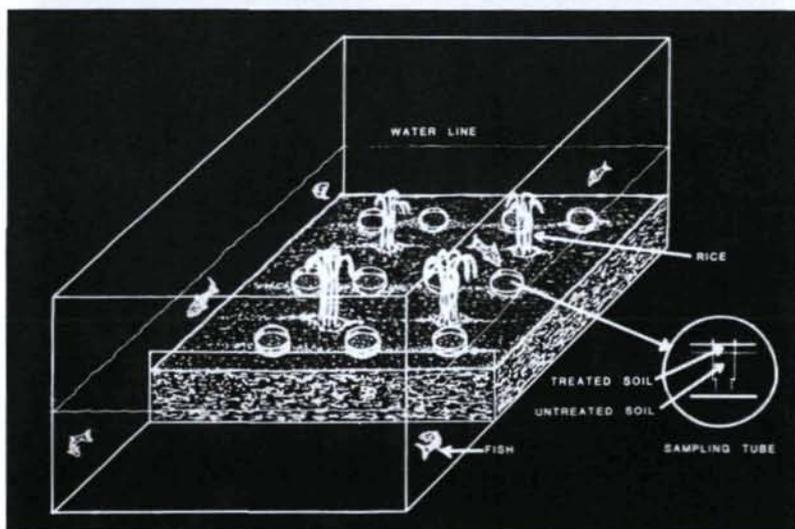
Los datos sobre el comportamiento de los plaguicidas en el medio marino tropical son muy limitados en comparación con la información sobre el destino final de los plaguicidas en las regiones templadas. Los estudios preliminares realizados por el Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino (IAEA-MEL) en lagunas costeras de América Central indican concentraciones elevadas de DDT y sus metabolitos en sedimentos y organismos acuáticos. También se observó en esas lagunas una contaminación muy difundida de los compuestos OP como el clorpirifos.

La presencia de plaguicidas en regiones costeras no es del todo imprevista, ya que las principales zonas agrícolas se encuentran en las llanuras costeras y los valles fluviales. Con todo, como se considera que la persistencia de los compuestos OP es generalmente baja, su presencia en lagunas resulta inesperada. Sin embargo, en ocasiones se ha notificado la muerte en masa de peces y camarones en ecosistemas estuarinos y lacustres costeros. Aunque no siempre se ha identificado claramente la causa, se ha sospechado que los productos agroquímicos utilizados en las regiones agrícolas vecinas son los toxicantes letales que intervienen.

Los estuarios y lagunas costeras son ecosistemas particularmente ricos y diversos que suelen servir de criaderos para los peces costeros que, como descargan materia orgánica en el mar, son importantes para controlar la productividad de las zonas costeras. Esos ecosistemas también ofrecen condiciones óptimas para el crecimiento de moluscos (ostras, almejas, mejillones), camarones y peces, y por ello constituyen en sí valiosos recursos pesqueros. En muchos países tropicales (el Japón, México, Viet Nam), las lagunas costeras se destinan al cultivo

Distribución de los productos agroquímicos de uso comercial





Un arrozal abierto es un medio experimental difícil; los científicos usan frecuentemente modelos de ecosistemas como el mostrado aquí, de arroz-peces, en estudios isotópicos de plaguicidas.

de camarones y ostras, y por eso son importantes bienes económicos. Así pues, la conservación de esos ecosistemas lacustres y el mejoramiento de las políticas de ordenación de las costas son cuestiones a las que se asigna máxima urgencia.

Es indispensable conocer el destino final de los plaguicidas en el medio ambiente para poder evaluar los riesgos y adoptar decisiones en materia de ordenación. Es inexplicablemente escasa la información de que se dispone sobre el destino final y el comportamiento de los plaguicidas en los medios tropicales terrestres y marinos a fin de evaluar sus posibles efectos.

Técnicas nucleares en los estudios de plaguicidas

En el estudio del destino final de los plaguicidas en el medio ambiente, el uso de moléculas marcadas con carbono 14 ha proporcionado durante algunos años un valioso instrumento para investigar los medios terrestres y acuáticos. Permiten seguir la

trayectoria de un compuesto en sistemas experimentales y realizar la identificación y cuantificación precisas de los productos de transformación en concentraciones muy bajas. Como sólo se mide el carbono radiactivo, para muchos fines la limpieza de muestras es menos rigurosa que la que requieren otras técnicas, como por ejemplo, la cromatografía. Por consiguiente, se puede procesar y medir rápidamente un elevado número de muestras con un equipo de centelleo líquido corriente a bajo costo.

Los programas de la Sección de Residuos y Productos Agroquímicos de la División Mixta del OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y la Dependencia de Productos Agroquímicos de los Laboratorios del OIEA en Seibersdorf, siempre han propugnado firmemente el empleo de esas técnicas para realizar estudios del comportamiento y destino final de los plaguicidas que incluyen la investigación de procesos biológicos, físicos y químicos. Incluso el estudio de cada proceso en sistemas de laboratorio aislados resulta más fácil usando compuestos marcados con carbono 14. Por ejemplo, aunque la cinética de la distribución entre las fases sólida (adsorbida) y líquida (en solución) en el suelo se puede estudiar a corto plazo con compuestos sin marcar, si el estudio se prolonga varios días hay que usar la marcación con carbono 14 para comprobar si la descomposición ha tenido o no lugar.

Cuando se intenta obtener una visión general de todos los procesos, el empleo de los isótopos es casi indispensable. Evidentemente, en los arrozales abiertos no se pueden emplear compuestos radiomarcados, pero en un ecosistema de tipo cerrado se pueden utilizar radisótopos sin riesgo para calcular la distribución y persistencia de un plaguicida en condiciones reguladas. Por supuesto, esta información no se puede extrapolar directamente al terreno pero sí indica qué compuestos se deben buscar y dónde es probable que se encuentren en posteriores estudios de vigilancia sobre el terreno.

En un proyecto de investigaciones que ejecuta el IAEA-MEL en colaboración con la Estación Marina de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada en Mazatlán, se ha estudiado el comportamiento de los plaguicidas en las lagunas tropicales con ayuda de dichas técnicas. Los resultados demuestran que cuando se introducen compuestos OP como el clorpirifos en el ecosistema lacustre simulado, se reparten rápidamente entre el agua y las partículas en suspensión. La fracción del plaguicida ligada a las partículas se estabiliza y persiste por largo tiempo, mientras que la que está en solución se degrada rápidamente por hidrólisis y metabolismo microbiano. El plaguicida ligado a la materia en suspensión y al sedimento se puede liberar lentamente y llegar a los organismos bentónicos.

Los resultados obtenidos en experimentos realizados en mesocosmos que simulan las condiciones lacustres tropicales indican que los plaguicidas OP provocan la muerte en masa de camarones y peces en bajas concentraciones (a un nivel de microgramo por litro). Además, se demostró que la acumulación de plaguicidas en los tejidos internos de moluscos, camarones y peces se producía con mucha rapidez (de minutos a horas) y que alcanzaba concentraciones superiores en tres o cuatro órdenes de magni-

tud a las concentraciones de plaguicidas en aguas ambientales. Se supone que la acción de la elevada temperatura ambiente, la fotólisis y la enorme biomasa microbiana en el medio lacustre tropical no provocaron la rápida degradación prevista de los plaguicidas OP porque la ligazón con las partículas sedimentarias y la materia orgánica los protegió.

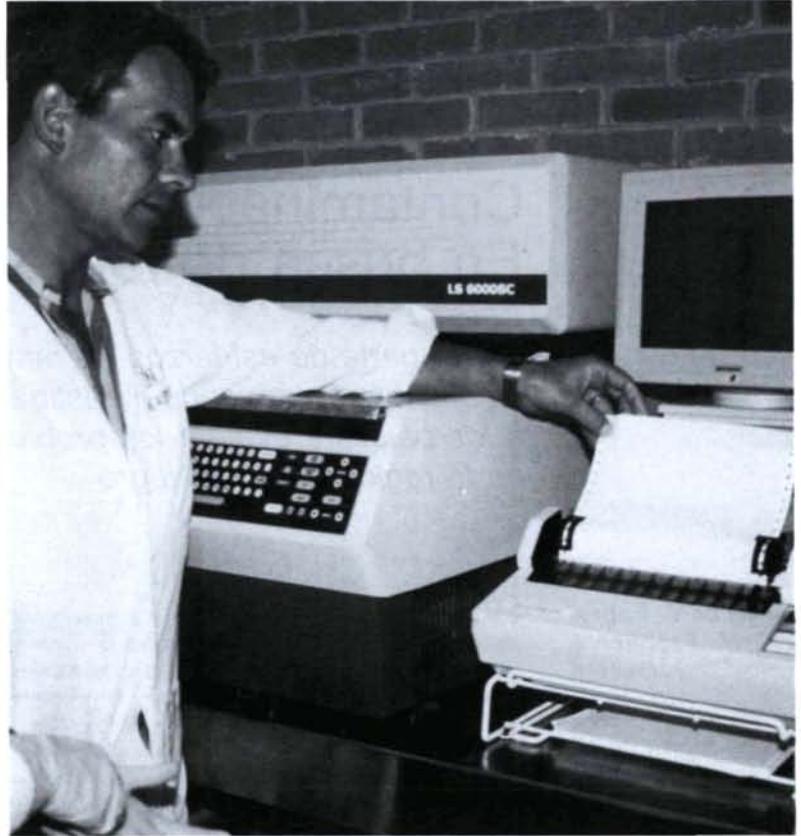
Por cierto que lo anterior es un ejemplo de una característica frecuente en los estudios sobre plaguicidas, a saber, que el resultado se puede explicar pero no pudo haberse pronosticado con seguridad. En este caso la adsorción (ligazón) redujo las tasas de descomposición, supuestamente porque redujo la concentración de los plaguicidas en la solución y, por tanto, los hizo menos vulnerables a los microorganismos y las reacciones fotoquímicas. Sin embargo, cabría esperar que la densidad de los microorganismos cerca de las superficies coloidales fuera mayor que en la solución que los rodea. Se sabe además que algunos puntos de adsorción pueden catalizar las reacciones de degradación. Ambas cosas aumentarían las tasas de degradación. Se han realizado numerosos estudios del efecto de la adsorción en la persistencia de los plaguicidas en los suelos. En algunos casos la adsorción disminuye la degradación, en otros casos la aumenta y en otros no tiene ningún efecto. Sería natural que esa misma diversidad se presentara en los sistemas marinos, ya que tales observaciones se pueden explicar a base de mecanismos conocidos pero que no se pueden pronosticar con los conocimientos actuales.

El resultado del programa que se ejecuta en México subraya la necesidad de seguir evaluando la contaminación de los medios marinos tropicales por los residuos de plaguicidas. Es evidente que para evaluar el efecto de los plaguicidas sobre esos ecosistemas necesitamos conocer más sobre su distribución, persistencia y destino final, así como sobre los factores que rigen los diversos procesos.

Futuras investigaciones apoyadas por el OIEA

Con objeto de realizar los estudios pertinentes, el OIEA está organizando un programa coordinado de investigación (PCI) por conducto de su Laboratorio de Mónaco y la División Mixta FAO/OIEA. El PCI, que se titula Distribución, Destino Final y Efectos de los Plaguicidas sobre la Biota en el Medio Ambiente Tropical, recibe apoyo del Organismo Sueco para el Desarrollo Internacional (SIDA) y se concentrará en diversos aspectos del problema, a saber:

- un examen de las modalidades de empleo de plaguicidas vigentes en esferas de estudio seleccionadas;
- la medición de los niveles de residuos en el medio marino;
- la descomposición y transformación de los plaguicidas radiomarcados en ecosistemas marinos y terrestres tipo;
- la investigación sobre la partición de los residuos de plaguicidas entre diferentes compartimentos del medio ambiente (agua, sedimentos, materia en suspensión, biota y atmósfera);
- los experimentos en microecosistemas sobre la acumulación y los efectos de los plaguicidas (radio-



marcados) en la fauna y la flora de las regiones costeras; y

- la elaboración de modelos con la información generada y su aplicación al desarrollo del concepto "Ordenación Integrada de las Zonas Costeras".

Participarán en el programa unos 15 Estados Miembros donde se realizan o están en preparación investigaciones sobre los plaguicidas. Los resultados de este PCI contribuirán a ampliar los conocimientos actuales sobre la contaminación ambiental por residuos de plaguicidas en las regiones costeras tropicales, y a evaluar las posibles consecuencias.

Se formularán recomendaciones para mejorar la ordenación de los ecosistemas vulnerables de las zonas costeras tropicales a fin de ayudar a los Estados Miembros a aplicar medidas prácticas encaminadas a armonizar los intereses de la agricultura con la preservación de sus recursos acuáticos.

Especialistas en ciencias marinas del OIEA ofrecieron capacitación en técnicas de trazadores radiactivos a investigadores de México.

(Cortesía: IAEA-MEL.)