

# RESULTADOS DE UN PROYECTO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION RASTREO DE PLAGUICIDAS EN LOS TROPICOS

POR F.P. CARVALHO, D.D. NHAN, C. ZHONG, T. TAVARES Y S. KLAINE

**D**esde los años cuarenta, el uso de plaguicidas ha aumentado de manera continua en un 11% anual, y llegó a cinco millones de toneladas en 1995. Los plaguicidas y los fertilizantes desempeñan un papel fundamental en la agricultura y contribuyen a incrementar la producción de alimentos.

Las tendencias modernas están cambiando gradualmente este panorama. Se está reduciendo el uso de productos agroquímicos, sobre todo en los países desarrollados, mientras se idean métodos agrícolas biológicos. Sin embargo, en la mayoría de los países, los productos agroquímicos seguirán siendo un componente esencial de las prácticas agrícolas en el futuro previsible.

Los plaguicidas, en especial los insecticidas y fungicidas, se aplican muchísimo más en cultivos comerciales tropicales —como el banano, el café, el algodón y las hortalizas— que en cultivos de regiones templadas. Por ejemplo, la aplicación de plaguicidas en las plantaciones de banano de Costa Rica llega a los 45 kg (ingrediente activo) por hectárea, en tanto la aplicación media comparable de plaguicidas en los cultivos del Japón es de 10,8 kg.

Los expertos han calculado que sólo una pequeña parte del plaguicida aplicado —menos del 0,1%— llega a la plaga a que está destinado; el plaguicida excedente circula por todo el medio ambiente, contaminando posiblemente el suelo, el agua y

la biota. Es decisivo caracterizar el destino final y la toxicidad no prevista de estos plaguicidas, para evaluar con certeza el riesgo asociado a su uso.

Generalmente, los terrenos agrícolas están ubicados en llanuras costeras y valles fluviales, por lo que no es sorprendente que estos ríos reciban la escorrentía agrícola y transporten residuos a los estuarios y mares costeros. Por ejemplo, en 1989, el río Mississippi de los Estados Unidos puede haber transportado un aproximado de 430 toneladas de atrazina desde las plantaciones de maíz y soja de la región del oeste medio hacia el Golfo de México.

Los efectos de los residuos de plaguicidas para el medio ambiente y la sanidad humana resultan muy inquietantes. Los recientes estudios realizados sobre el comportamiento, similar al del estrógeno, del DDT y de los bifenilos policlorados en los seres humanos, indican la incidencia de estos compuestos en el cáncer de mama. Además, la conciencia cada vez mayor de la persistencia en el medio ambiente de contaminantes orgánicos (plaguicidas y productos químicos orgánicos industriales) indujo hace poco a los gobiernos a concertar en el plano internacional un Convenio sobre

contaminantes orgánicos persistentes, que contribuya a eliminar gradualmente el uso de diversas sustancias nocivas, como el DDT, los bifenilos policlorados y otros hidrocarburos clorados. De todas formas, en todo el mundo se continuarán usando cientos de compuestos viejos y nuevos en forma de productos químicos para proteger los cultivos. Es apremiante que elaboremos estrategias orientadas a facilitar la coexistencia de una agricultura productiva, sana y económicamente viable con la preservación de los recursos naturales.

Para lograrlo, es necesario investigar más los ecosistemas sujetos a una carga importante de plaguicidas. La mayoría de los estudios sobre los ciclos, el destino final y los efectos de los plaguicidas en el medio ambiente, se han realizado en climas templados (América del Norte y Europa occidental). Se dispone de mucha menos información sobre el comportamiento de estos productos químicos en ecosistemas tropicales.

Para ayudar a llenar este vacío de información, el OIEA estableció un programa coordinado de investigaciones (PCI) sobre la "Distribución, Destino Final y Efectos de los Plaguicidas en la Biota del Medio Ambiente

---

*El Sr. Carvalho es jefe del Laboratorio de Estudios de Ambientes Marinos del MEL en Mónaco; el Sr. Nhan es investigador del Instituto de Ciencia y Técnica Nucleares, en Hanoi, Viet Nam; el Sr. Zhong es profesor de la Universidad Zhongshan (Sun Yat-sen), en Guangzhou, China; la Sra. Tavares es profesora de la Universidad Federal, en Bahía, Brasil; y el Sr. Klaine es profesor de la Universidad Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos.*

## RADISOTOPOS PARA EL PROGRESO

Dieciocho laboratorios de diecisiete países —Bangladesh, Brasil, China, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Estados Unidos, Filipinas, India, Jamaica, Kenya, Malasia, México, los Países Bajos y Viet Nam— participaron en el programa coordinado de investigaciones del OIEA sobre el destino final y los efectos de los plaguicidas en los medios ambientes tropicales.

Entre los instrumentos de investigación mejores y menos costosos que los laboratorios utilizaron estuvieron las técnicas de trazadores radiactivos. Los plaguicidas marcados con radisótopos se emplean en sistemas modelo que ayudan a los investigadores a estudiar, por ejemplo, la persistencia de los plaguicidas, las vías de degradación y la transferencia de plaguicidas en las cadenas alimentarias marinas. Con el equipo de centelleo líquido estándar, se puede procesar rápidamente y medir una gran cantidad de muestras a bajo costo. Varios laboratorios participantes están aplicando esta técnica para obtener datos, anteriormente inexistentes, sobre el comportamiento de los plaguicidas en los medios marinos tropicales.

En doce laboratorios, se introdujo la investigación mediante el uso de compuestos marcados con carbono 14, y ahora se utilizan técnicas analíticas de cromatografía en fase gaseosa en catorce laboratorios participantes. La mayoría de los laboratorios han adoptado procedimientos de garantía de calidad, que incluyen la participación regular en ejercicios de intercomparación y el uso de materiales de referencia certificados para asegurar la calidad de los datos.



Los resultados de las investigaciones se han presentado en varios foros científicos, como el Simposio internacional sobre el comportamiento ambiental de productos químicos para la protección de cultivos, organizado conjuntamente por el OIEA y la Organización para la Agricultura y la Alimentación en 1996.

En el próximo Simposio internacional sobre contaminación marina que se celebrará en Mónaco, en octubre de 1998, los científicos participantes presentarán 14 memorias científicas sobre el trabajo que han realizado. *(Para información sobre el Simposio, véase el recuadro de las páginas 4 y 5.)*

*Fotos: Trabajo analítico que se realiza en el laboratorio de química de la Universidad de Malaya, Filipinas. La universidad fue sede de una reunión de participantes en el PCI celebrado en junio de 1995.*



Marino Tropical”, financiado por el Organismo Sueco de Desarrollo Internacional. En el presente artículo se destacan los resultados de este proyecto, incluidos los obtenidos en estudios de caso nacionales.

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION Y PARTICIPACION

Los objetivos técnicos del PCI eran medir los niveles actuales de los residuos de plaguicidas en el medio ambiente costero; caracterizar los ciclos y el destino final de los plaguicidas utilizando compuestos radiomarcados y técnicas nucleares; evaluar los efectos de los residuos en la biota marina; evaluar el riesgo asociado a los residuos de plaguicidas en los ecosistemas tropicales costeros; y recomendar medidas para proteger el medio ambiente marino tropical.

El OIEA recibió una gran cantidad de solicitudes de participación e información, lo que da fe de la importancia que los países conceden al proyecto y del interés que tienen en tomar medidas respecto de los problemas ambientales asociados. Dieciocho laboratorios de diecisiete Estados Miembros del OIEA acordaron participar en el proyecto, los cuales estaban encabezados por el Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino en Mónaco. (Véase el recuadro de la página 25.)

En junio de 1994, se celebró en el MEL la primera reunión de coordinación de la investigación. En ella se examinó el uso de los plaguicidas y los datos sobre contaminación debida a residuos de plaguicidas en los países participantes, y se identificaron los compuestos que debían ser objeto de investigación y las metodologías que se podían aplicar para cumplir los objetivos del proyecto. Además, se determinaron las necesidades de equipo y capacitación de los laboratorios

## GRAN ALCANCE

En todo el mundo, se utilizan productos químicos para la protección de cultivos en la agricultura. Las mayores cantidades de herbicidas se aplican en América del Norte, Europa occidental y Asia, mientras los insecticidas se usan mayormente en Asia oriental, América del Norte y América Latina. Un 50% de los insecticidas que se emplean en el mundo se aplica en los países en desarrollo, sobre todo en las regiones tropicales, principalmente para combatir plagas que se alimentan de cultivos comerciales e insectos domésticos. En los años futuros, se prevé que la utilización general de los plaguicidas aumente en Asia, mientras se espera que su uso continuará disminuyendo en Europa occidental.

*Foto: Rociadora de herbicidas en los arrozales de Viet Nam. (Cortesía: Carvalho/MEL)*



participantes para organizar el apoyo técnico del OIEA a los laboratorios. Desde entonces, se han organizado reuniones de coordinación anuales para presentar y analizar los resultados obtenidos por el proyecto en cada país. Entre las reuniones, se mantuvo de manera permanente el vínculo y el intercambio de datos entre los participantes mediante circulares periódicas.

Se han realizado importantes actividades conjuntas para satisfacer necesidades u objetivos comunes. Entre estas cabe mencionar cursos (conferen-

cias) sobre química de los plaguicidas, toxicología acuática y evaluación del riesgo ecológico; talleres de capacitación sobre análisis de plaguicidas (se organizó uno en Costa Rica y otro en Malasia) para el adiestramiento en materia de análisis de los participantes en el PCI; y ejercicios de intercomparación para comprobar la exactitud de los resultados del trabajo de laboratorio y alentar los progresos en relación con la garantía de calidad de los datos en los análisis de plaguicidas organoclorados y compuestos radiomarcados. En estos ejercicios, se utilizaron homogenados de muestras marinas de matriz adecuada (sedimentos, algas y mejillones) como muestras de ensayo.

## RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CASO

Cada instituto participante en el PCI planificó realizar investigaciones sobre el terreno para vigilar los residuos de plaguicidas en los ecosistemas costeros de sus respectivos países. Las zonas de estudio abarcaron diferentes ecosistemas, como la bahía de Manila, en Filipinas; el delta del río Zhujiang (Perla) en China; la bahía de Cartagena, en Colombia; varias cuencas fluviales en el puerto de Kingston, en Jamaica; la Bahía de Todos los Santos, en Brasil; el valle del Río Rojo y el delta en el norte de Viet Nam y la Costa India de Kenya.

Los residuos de plaguicidas identificados en el medio ambiente costero de estas regiones siguen, como se esperaba, las tendencias observadas en el uso local de plaguicidas. De todas maneras, los compuestos volátiles que los fenómenos atmosféricos transportan y vuelven a depositar en todo el mundo, también se pudieran medir en regiones lejanas de su zona de aplicación

inicial. A continuación se ofrecen ejemplos de los resultados obtenidos:

■ **Investigación en Brasil.** En los análisis de sedimentos y moluscos, recogidos en varias estaciones de la Bahía de Todos los Santos, Brasil, se detectó la presencia de residuos de DDT que oscilaron entre 0,24 y 44 nanogramos por gramo (peso seco) en tejidos de moluscos. El consumo regular de estos moluscos comestibles, en la comunidad de pescadores, se traduce en una ingestión de DDT de entre 75 y 589 nanogramos diarios. Estos niveles, aunque no son alarmantes, se consideran altos. Además, en comparación con las mediciones realizadas diez años atrás en las mismas zonas, estos niveles muestran un aumento de las concentraciones de DDT en la Bahía, a pesar de que en Brasil está prohibido el uso del DDT desde 1976. El aumento indica que los campesinos de la región lo usan.

El DDT no fue el único plaguicida organoclorado que se detectó. Los análisis de HCB, aldrina, dieldrina y endrina en las mismas muestras demostraron que estos compuestos estaban presentes en varios lugares, aunque, por lo general, en niveles por debajo de un nanogramo por gramo.

Gracias al PCI, mejoró notablemente la capacidad de los laboratorios para medir residuos de plaguicidas en las muestras marinas, como los residuos de DDT en mejillones.

■ **Investigación en China.** El estudio ambiental realizado con relación al hexacloruro de benceno (BHC) y el DDT en el delta del río Zhujiang (Perla) se consideró de gran interés. Ello se debe a que China, importante productor mundial de arroz y trigo, utilizaba principalmente DDT, HCH y BHC en los decenios de 1950 y 1960 para combatir las plagas de insectos.

En 1990, el consumo total de plaguicidas en China llegó a  $2 \times 10^6$  toneladas de ingrediente activo (una tercera parte del consumo mundial), y de manera oficial se suspendió el uso del DDT y el BHC en la agricultura.

El río Zhujiang desagua en una región extensa y fértil, posiblemente transportando esos residuos de plaguicidas al Mar de China Meridional. En la investigación realizada en el marco de este PCI se detectó que las aguas del río Zhujiang transportan actualmente pocos residuos, lo que concuerda con la vigente prohibición del uso de estos plaguicidas.

No obstante, en los sedimentos bentónicos y en las cadenas alimentarias marinas, desde el fitoplancton hasta los mejillones y las aves marinas, las concentraciones de DDT fueron altas, y llegaron a los 1,3 y 2,1 microgramos por gramo (peso seco) en los tejidos de mejillones y de aves marinas respectivamente. Estas altas concentraciones se deben al anterior uso de los compuestos en la región y corroboran que el DDT tiene una persistencia muy prolongada en el medio ambiente.

■ **Investigación en Viet Nam.**

En los estudios realizados en el delta del río Rojo en Viet Nam se concluyó que los compuestos de plaguicidas ciclodienos como la aldrina, la dieldrina y la endrina son casi inexistentes en el medio acuático de ese país. Eso indica que Viet Nam probablemente nunca utilizó estos compuestos persistentes, en otros tiempos muy populares en Estados Unidos y Europa, pero ahora totalmente prohibidos. Por otra parte, el DDT se pudo medir en todas las muestras. Además, en las carpas de agua dulce capturadas cerca de los arrozales, la concentración de DDT (13 microgramos por gramo de peso líquido) estuvo muy por

encima de los niveles máximos permisibles en los alimentos comprendidos en las normas europeas.

Como el uso del DDT está prohibido en Viet Nam, estas conclusiones pueden hacer que las autoridades competentes se vean obligadas a reforzar los controles que se ejercen sobre el uso del plaguicida. Además, la densidad de la población del valle del río Rojo y el reaprovechamiento múltiple del agua a lo largo del río, respaldan la necesidad de realizar una evaluación cuidadosa de los problemas de contaminación, que deberían ser controlados mediante una ordenación integrada de las cuencas fluviales para mejorar la calidad y los métodos de conservación del agua.

■ **Investigación en México.**

Un estudio sobre el terreno de los residuos de plaguicidas en las lagunas costeras de México, estado de Sinaloa, indicó la presencia de residuos de DDT, aldrina, dieldrina y compuestos organofosforados, clorpirifos y paratión. El hallazgo de compuestos organofosforados en el sistema de lagunas fue algo sorprendente. En general, se cree que son rápidamente degradables y, por tanto, no persisten en el medio ambiente. Se consideró que la presencia de estos residuos, procedentes de las plantaciones hortícolas y de caña de azúcar del valle del río Culiacán, constituye un peligro potencial para el desarrollo del cultivo del camarón en Sinaloa. Se recomendó a las autoridades regionales y a los campesinos que tuvieran cuidado con la escorrentía agrícola y las descargas de aguas de desecho.

■ **Investigación en Jamaica.** La investigación de los residuos de plaguicidas en Jamaica centró su atención en la contaminación de los cursos de agua montañosos que reciben el desagüe de los cafetales. El endosulfan y varios



plaguicidas organofosforados causan preocupación ya que contaminan los recursos de agua potable y la biota de agua dulce. Las descargas de los cursos de agua en el medio ambiente costero contaminan los ecosistemas marinos, aunque a bajo nivel. No obstante, parece que se requiere con urgencia establecer un estricto control sobre el uso de plaguicidas en las laderas de las montañas para proteger los acuíferos de la contaminación.

#### ■ *Investigación en Costa Rica.*

En Costa Rica, se ejecutó un programa de vigilancia de la contaminación debida a los residuos de plaguicidas procedentes de plantaciones de banano ubicadas en dos cuencas hidrográficas: una en la costa del Caribe (Tortuguero-Parismina) y otra en la costa del Pacífico (estuario del río Tempisque). Costa Rica importa unas 5000 toneladas anuales de plaguicidas (ingrediente activo) —de las cuales el 56% son de fungicidas, el 30% de herbicidas y el 12% de insecticidas/nematicidas— que se aplican casi totalmente en las plantaciones de banano. El alto régimen de lluvias y la frecuente aplicación de productos agro-



químicos provoca la filtración de residuos a los ríos importantes del país, que atraviesan zonas protegidas (reservas naturales) de las dos regiones costeras. Se detectaron residuos de edifenfos, clorpirifos, diazinona, ametrin, carbofurano y etoprofos, tanto en el agua como en las almejas recolectadas en la costa. Sin embargo, todavía no se han evaluado los efectos de estos residuos en los ecosistemas.

#### ■ *Investigación en Nicaragua.*

En Nicaragua, la Universidad de Nicaragua y el MEL realizaron un estudio conjunto para vigilar la contaminación ocasionada por plaguicidas en las principales lagunas de la costa del Pacífico. Durante decenios, en esta región del país ha tenido lugar la mayor parte de la explotación agrícola y el máximo uso de plaguicidas.

Los resultados del estudio de una amplia gama de plaguicidas clorados persistentes mostraron niveles bajos de contaminación en varias lagunas. Sin embargo, en las lagunas costeras de los distritos algodonereros de Chinandega y León, esos niveles fueron extremadamente altos, sobre todo en relación con el toxafeno y el DDT. Allí, las concentraciones de toxafeno llegaron a los 6,9 microgramos por gramo (peso seco) en los sedimentos y 1,6 microgramos por gramo (peso seco) en los tejidos blandos de las almejas.

El toxafeno y el DDT se utilizaron en el cultivo del algodón durante varios decenios en esta región. Aunque se dejó de usar a principios de los años noventa, la reserva de estos compuestos acumulada en los suelos y en los sedimentos de las lagunas es muy alta y su persistencia en el medio ambiente es muy prolongada.

Los resultados de esta investigación se expusieron en la Conferencia Nacional sobre Plaguicidas, celebrada en Managua, en

noviembre de 1997, la que precedió la tan esperada aprobación de la Ley Nacional sobre Plaguicidas. Ahora las autoridades nicaragüenses pueden ejecutar una gestión integrada y acertada, así como aplicar medidas orientadas a reducir la contaminación en la zona costera.

■ *Otros estudios.* Se están realizando estudios similares para evaluar los contaminantes ambientales derivados de residuos de plaguicidas en otras zonas costeras tropicales de Kenya, India, Bangladesh y Ecuador. A partir de los resultados obtenidos hasta ahora, se observa la presencia de plaguicidas organoclorados persistentes en todos los lugares, aunque en algunas zonas, sólo en cantidades mínimas afortunadamente. Cuando se han detectado, los plaguicidas organofosforados, parecen, en general, estar presentes en concentraciones más bajas que los compuestos organoclorados.

## TECNICAS DE TRAZADORES RADIOACTIVOS

Se realizó un trabajo experimental, utilizando compuestos marcados con carbono 14 y detección de centelleo líquido para investigar el comportamiento de los plaguicidas en el medio acuático. La investigación se centró en la selección de los compuestos —a saber, DDT, endosulfan, lindano, clorpirifos y paratión— que se han detectado en medios costeros tropicales.

Los experimentos fueron concebidos para obtener información sobre varios aspectos relacionados con el destino final, la

*Foto: Arriba, contador de centelleo líquido que forma parte del equipo de laboratorio utilizado por los investigadores de plaguicidas en Viet Nam. Izquierda: cosecha de banano en Costa Rica.*

*(Cortesía: ISTN/VINATOM)*

persistencia y la bioacumulación de estos plaguicidas en las aguas marinas. Los estudios se realizaron en un microcosmos de laboratorio y en ecosistemas modelo, según la metodología común aprobada por los institutos participantes en el PCI.

El transporte, la dispersión y, por último, los efectos biológicos de los plaguicidas en los sistemas de lagunas dependen de la persistencia de estos productos químicos en condiciones tropicales y de su bioacumulación y biodegradación. En general, se cree que la luz solar y las elevadas temperaturas de los trópicos contribuyen a la rápida desintegración de estos compuestos. Sin embargo, los resultados preliminares de los experimentos indican que la fotólisis no desempeña una función tan importante en la desintegración de estos compuestos, en comparación con la hidrólisis química.

Los resultados de los estudios experimentales muestran que la persistencia de los períodos de semidesintegración de los plaguicidas disueltos a 32°C fluctúa entre 1,4 y 10 días en el caso de los clorpirifos, de 9 a 46 días en el del paratión y de 130 a 155 días en el del DDT, según la salinidad del agua.

Los experimentos con sistemas de sedimento/agua han demostrado que la persistencia de los períodos de semidesintegración de los plaguicidas absorbidos por los sedimentos de las lagunas son de 10 a 100 veces más largos que los períodos de semidesintegración de los mismos compuestos en las aguas sobreyacentes, a pesar de la mayor biomasa microbiana existente en los sedimentos en comparación con el agua. Por tanto, la rápida sorción de los plaguicidas en las partículas de sedimento puede aumentar su persistencia. Es probable que los embalses más grandes de estos compuestos se encuentren

en los sedimentos de lagunas que reciben la escorrentía de los campos adyacentes.

Varios institutos participantes en el PCI de Bangladesh, China, India, Filipinas, Viet Nam, Malasia, Jamaica y México llevaron a cabo experimentos similares. Examinaron el destino final del DDT y los clorpirifos en acuarios donde se simulaban las condiciones del medio marino tropical y utilizaron especies locales de la biota marina. Los resultados muestran que la acumulación de esos plaguicidas, procedentes del agua, en los mejillones, almejas, camarones y peces es muy rápida y ocurre en escalas cronológicas de minutos a horas. Además, el factor de concentración biológica de compuestos lipofílicos, como el DDT y los metabolitos del DDT, suele ser muy alto.

Los laboratorios han alcanzado considerables progresos en la investigación de los plaguicidas con el uso de las técnicas de trazadores radiactivos. (Véase el recuadro de la página 25.) Entre esos progresos cabe mencionar la creación de sistemas experimentales en miniatura para investigar la degradación y volatilización de los compuestos, así como el logro de resultados que muestran que la persistencia y la bioacumulación de los plaguicidas en el medio marino están relacionadas con la configuración molecular y el contenido de cloro.

Según los resultados obtenidos en los experimentos realizados con compuestos radiomarcados, parece evidente que los compuestos organoclorados, como el DDT, se degradarán muy lentamente en el medio ambiente. Por otra parte, algunos de los compuestos organofosforados pueden sobrevivir bastante tiempo para dispersarse en las zonas estuarinas y costeras, así como afectar la biota acuática. De todas formas,

estos compuestos se degradarán, por lo general, mucho más rápido que los compuestos organoclorados en el medio marino.

## **EFFECTOS SOBRE LAS ESPECIES MARINAS**

Varios institutos de Filipinas, Jamaica, Costa Rica y México están realizando análisis de la toxicidad de las especies marinas en condiciones tropicales. El propósito es evaluar la sensibilidad de las especies tropicales comunes que probablemente estén expuestas a los residuos (por ejemplo, la tilapia y el camarón de cultivo) en las condiciones de los ecosistemas tropicales.

Una característica común de las lagunas costeras tropicales rodeadas de manglares es la elevada concentración de sustancias húmicas formadas por la descomposición gradual del follaje que se desprende de los manglares. Dada la hidrofobicidad de los compuestos organoclorados y organofosforados, la posible asociación de estos plaguicidas con partículas y sustancias húmicas disueltas puede modificar el destino final general de estos residuos de plaguicidas y su biodisponibilidad.

Esta hipótesis se sometió a prueba en mejillones marinos expuestos a plaguicidas disueltos en agua de mar, sin sustancias húmicas o con partículas húmicas que ya contenían plaguicidas combinados. Los resultados indicaron que la acumulación en mejillones de los plaguicidas disueltos en el agua aumentó rápidamente en las primeras 12 horas, seguida de un incremento más lento después. Los plaguicidas combinados por las sustancias húmicas también se acumularon en los tejidos de los mejillones, aunque en menor grado que cuando procedían directamente del agua.

Por tanto, parece que la combinación previa de los plaguicidas por las sustancias húmicas puede contribuir a reducir la bioacumulación de esos compuestos por la fauna lacustre. No obstante, es necesario continuar las investigaciones para poner en claro los mecanismos específicos que rigen la distribución, el destino final y, por ende, los efectos de los residuos de plaguicidas en las lagunas tropicales.

## EVALUACION DE LOS RIESGOS Y ESTRATEGIAS

Uno de los objetivos generales del PCI es caracterizar el riesgo a que están expuestos, tanto los seres humanos, como los ecosistemas marinos costeros, y proponer estrategias orientadas a reducir ese riesgo (si ya es inaceptable) en el futuro.

La evaluación del riesgo ecológico en determinados ecosistemas puede comenzarse ya que los diversos estudios de caso realizados en el marco del PCI han generado suficientes datos sobre los residuos y la toxicidad de los plaguicidas. En algunos ecosistemas, particularmente en los sistemas de lagos de zonas estuarinas y costeras, receptores del desagüe agrícola, los residuos de plaguicidas en los sedimentos y en la biota se aproximan al nivel tóxico crítico. Sin embargo, con más frecuencia, los residuos están por debajo de los valores letales y constituyen problemas potenciales para la cadena alimentaria.

Resulta coincidente que estos ecosistemas sean el hábitat ideal para el cultivo de peces, camarones y ostras. De ahí que estos residuos pueden llegar a la población en general por la vía de la industria de la acuicultura. Además, estos residuos constituyen un peli-

gro mensurable para la estabilidad del ecosistema de estas zonas. Esta inestabilidad pudiera resultar de la pérdida de especies críticas, del nivel trófico o del deterioro de la calidad general del agua (por ejemplo, el oxígeno disuelto) ocasionados por la degradación microbiana de estos contaminantes. La preservación de estos sistemas y los recursos asociados exigirían la ejecución de planes de gestión integrados



para las zonas costeras con vistas a armonizar los intereses de agricultores, acuicultores y de la comunidad pesquera.

La ejecución del PCI facilitó la evaluación de la contaminación por plaguicidas en las principales zonas costeras. Además, con los experimentos se obtuvieron datos sobre los ciclos de los plaguicidas, los cuales permiten conocer de manera más completa los efectos y el destino final de residuos en el medio ambiente de las zonas costeras tropicales y la aplicación de estrategias orientadas a la ordenación del medio.

Otros beneficios inmediatos que los países participantes han derivado del PCI son el mejoramiento de la capacidad para medir los residuos de plaguicidas en las muestras ambientales, y para realizar investigaciones sobre los ciclos de los plaguici-

das en las regiones tropicales. En general, el proyecto ha aumentado la conciencia acerca de la necesidad de reducir la contaminación ambiental debida a los compuestos orgánicos persistentes.

Se planifica realizar una evaluación más integral del riesgo ecológico en las cuencas fluviales. Esta evaluación combinaría los datos existentes sobre los residuos y la toxicidad de los plaguicidas, con los datos sobre el uso de la tierra en la cuenca fluvial, para establecer las relaciones de causa y efecto correspondientes a diversas actividades. El estudio serviría de base para trazar estrategias orientadas a la ordenación de la tierra y los recursos hídricos a fin de asegurar la estabilidad de los ecosistemas, y proporcionar recursos para el desarrollo agrícola, acuícola e industrial, la recreación y la cons-

trucción de viviendas. Es menester seguir investigando y ensayando soluciones prácticas para tratar las aguas de desecho contaminadas y la escorrentía superficial procedente de los campos agrícolas. En algunos casos, se han propuesto soluciones provisionales, como el uso de zonas pantanosas naturales o construidas alrededor de terrenos agrícolas para eliminar residuos del agua. A la larga, ésta y otras propuestas se pudieran ensayar a escala piloto en los trópicos, por ejemplo, alrededor de las plantaciones de banano. Este paso de avance sería una medida lógica que emana del trabajo ya realizado por los laboratorios de todo el mundo por mediación de este proyecto de investigación patrocinado por el OIEA. □

*Foto: Pesca en la bahía de Manila, Filipinas.*