

La investigación en México en materia de compuestos orgánicos persistentes

MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ CORDERO Y
ARTURO GAVILÁN GARCÍA



INTRODUCCIÓN

En los últimos cuarenta años ha crecido la conciencia de las amenazas que representa para la salud humana y el ambiente la liberación cada vez mayor de sustancias químicas de origen sintético. La acumulación de evidencias ha hecho que los esfuerzos se concentren en una categoría de sustancias denominadas contaminantes orgánicos persistentes, me-

yor conocidos como COP, que son compuestos químicos resistentes a la degradación fotolítica, biológica y química.

Las propiedades tóxicas de estas sustancias perduran durante largo tiempo en el ambiente y pueden recorrer enormes distancias antes de almacenarse en los tejidos grasos, particularmente en los peces y ma-

míferos marinos, además de que tienden a concentrarse cada vez más a medida que se transmiten a través de las cadenas tróficas.

A esta descripción corresponden los doce COP considerados como prioritarios y objeto directo de la Convención de Estocolmo: aldrina, bifenilos policlorados, clordano, DDT, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, dioxinas y furanos. También es el caso de otros grupos de sustancias que son candidatas a ser incluidas en el convenio: hexaclorociclohexano, clordecona, atrazina, endosulfán, pentaclorofenol, los ftalatos, las parafinas policloradas, hexabromobifenilo, éteres bifenílicos polibromados, hidrocarburos policíclicos aromáticos, nonil y octil-fenoles, el perfluoro-octilsulfonato y los compuestos órgano-estánnicos, órgano-mercúricos y órgano-plúmbicos (UNEP 2002).

México, al ratificar el Convenio de Estocolmo, adquirió ciertos compromisos, entre los que destacan el promover el fortalecimiento de las capacidades e infraestructura en materia de COP. Una parte importante de estas capacidades la constituye la investigación científica que permite conocer el estado de estas sustancias en el país, su generación, distribución y acumulación en el ambiente. En consecuencia, es de suma importancia conocer cuál es la comunidad científica que trabaja en el tema.

El diagnóstico del estado de la investigación sobre los COP en el país se aborda a través de la descripción de los centros interesados en el tema, la clasificación de los proyectos realizados, la preparación de los recursos humanos disponibles y su infraestructura analítica.

LA CONVENCION DE ESTOCOLMO

En mayo de 2001, en Estocolmo, Suecia, un total de 127 países adoptaron un tratado de las Naciones Unidas para prohibir o minimizar el uso de doce de las sustancias tóxicas más utilizadas en el mundo,

consideradas causantes de cáncer y defectos congénitos en personas y animales. México ratificó este Convenio el 10 de febrero de 2003, por lo que adquirió el compromiso de elaborar un Plan Nacional de Implementación que estableciera las principales acciones a realizar para disminuir, eliminar o sustituir dichas sustancias.

El 17 de mayo de 2004 entró en vigor el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), para el cual cada país signatario deberá preparar un Plan Nacional de Implementación, mediante el cual se establecerán las acciones prioritarias para cumplir con el Convenio.

El Convenio sobre los COP es una importante estrategia de acción que complementa otros convenios, acuerdos y planes de acción mundiales o regionales relacionados con el manejo de productos químicos, en especial el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, y el Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo (PCFP) para ciertos productos químicos peligrosos y plaguicidas en el comercio internacional.

EL ESTUDIO CAPACIDADES Y NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN EN MÉXICO EN MATERIA DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES

ANTECEDENTES

Desde principios de la década de los ochenta, investigadores nacionales y de otros países iniciaron estudios sobre los niveles de COP en diferentes sectores ambientales en México. Además se negociaron acuerdos en el seno de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte, para la implementación de Planes de Acción Regional (PARAN), y se iniciaron diversas acciones de gestión y regulación. Actualmente, México tiene un avance significativo en el control de varios de estos compuestos.

Como parte de las acciones realizadas por el Instituto Nacional de Ecología para dar cumplimiento a dicho acuerdo suscrito por México, se elaboró el estudio Identificación de las capacidades y necesidades de investigación en México en materia de COP.

OBJETIVOS

El estudio se elaboró con la finalidad de identificar las entidades y centros que realicen investigación y monitoreo sobre COP; construir una base de datos que integre la información obtenida; definir temas prioritarios y proponer mecanismos de coordinación factibles para la elaboración de una agenda nacional sobre COP.

METODOLOGÍA

Se consultaron sitios oficiales de Internet de las instituciones nacionales de investigación científica que fueron ubicadas para la revisión de sus diferentes áreas de investigación, y en forma paralela se contactaron por correo electrónico coordinaciones científicas de fundaciones, colegios, centros y organismos públicos y privados relevantes en la materia, para acceder a sus directorios. La información obtenida se organizó y sistematizó para depurar y ubicar nuevos investigadores.

Para conocer a detalle las capacidades analíticas de las instituciones y de los investigadores seleccionados se diseñó un cuestionario con dos secciones:

1. Datos generales. Se incluyeron los datos del contacto como nombre, institución a la que pertenecen dirección institucional, teléfono, correo electrónico, entre otros.
2. Actividades institucionales. En esta sección se solicitó la información referente a las líneas y sublíneas de investigación, a los proyectos realizados, al tipo de financiamiento y las capacidades analíticas de cada contacto, entre otros datos.

CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS EN LÍNEA

Con la información recabada se creó el sitio web de COP que alberga una base de datos relacional en la cual se puede consultar la información y que está disponible en la dirección www.ine.gob.mx/dgicurg/sqre/cops.

LA INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE A NIVEL NACIONAL

Centros de investigación

Con base en los resultados del estudio, se encontraron al menos 25 instituciones que realizan actividades de investigación en materia de COP. En ellas laboran 42 investigadores de los cuales 72% tienen el grado de doctor, 26% maestría, 2% licenciatura; 48% pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), 38% con nivel I, 5% con nivel II y 5% nivel III. Por otro lado, se encontraron cuatro investigadores que son candidatos a ingresar al SNI (cuadro 1).

Distribución geográfica

La distribución geográfica de los investigadores ubicados se presenta en el cuadro 2 y muestra que los investigadores se distribuyen mayoritariamente en los estados de Baja California Sur, Nuevo León, Sinaloa, Morelos y el Distrito Federal, los cuales concentran el 64% del total de los investigadores (cuadro 2).

Líneas y sub-líneas de investigación

Las líneas de investigación propuestas para clasificar los proyectos de cada investigador se muestran en el cuadro 3. Estas líneas de investigación se utilizaron para clasificar los proyectos reportados en los cuestionarios. La línea con más proyectos resultó la de *Evaluación de riesgos e impacto ambiental* con 89 estudios, que representan 46% del total, mientras

CUADRO 1. DETALLE DE LA PREPARACIÓN ACADÉMICA DE LOS INVESTIGADORES UBICADOS

CONCEPTO	CANTIDAD (PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL DE INVESTIGADORES)
Investigadores	42
Doctorado	30 (72%)
Maestría	11 (26%)
Licenciatura	1 (2%)
Con registro en el Sistema Nacional de investigadores (SNI)	20 (48%)
SNI Nivel I	16 (38%)
SNI Nivel II	2 (5%)
SNI Nivel III	2 (5%)
SNI Candidato	4 (10%)

CUADRO 2. DETALLE DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS INVESTIGADORES UBICADOS

ESTADO	CANTIDAD Y PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL DE INVESTIGADORES
Aguascalientes	1 (2%)
Baja California	2 (5%)
Baja California Sur	4 (10%)
Campeche	1 (2%)
Distrito Federal	8 (19%)
Estado de México	1 (2%)
Morelos	6 (14%)
Nayarit	1 (2%)
Nuevo León	4 (10%)
Querétaro	1 (2%)
Quintana Roo	1 (2%)
Puebla	1 (2%)
San Luís Potosí	1 (2%)
Sinaloa	5 (12%)
Sonora	2 (5%)
Veracruz	1 (2%)
Yucatán	2 (5%)

que en la línea de *Monitoreo y modelaciones* se reportaron tan sólo 19, lo que representa el 10% del total de 191 proyectos.

Debido a la compleja problemática de los COP, fue necesario definir sublíneas de investigación para afinar la clasificación de los proyectos.

CUADRO 3. DETALLE DE LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

LÍNEA	TOTAL DE PROYECTOS (%)
Ecotoxicología	34 (18%)
Efectos en la salud	21 (11%)
Evaluación de riesgos e impacto ambiental	89 (46%)
Monitoreo y modelaciones	19 (10%)
Tecnologías de tratamiento	28 (14%)
Total de proyectos	191 (100%)

En el cuadro 4 se muestran las ocho sublíneas correspondientes a la línea de *ecotoxicología*. La sublínea de investigación en *ecotoxicología* con más proyectos resultó la de *estudios en ambientes y organismos acuáticos* con ocho proyectos (23% del total), mientras que en *biodisponibilidad* se reportó tan sólo un trabajo, es decir, 3% del total.

En el cuadro 5 se muestran las cinco sublíneas propuestas para la línea *efectos en la salud*. En ella, *toxicología* contó con un mayor número de proyectos (13) que representan 62% del total, mientras que en las sublíneas de *emisiones atmosféricas* y *salud infantil* se reportaron el menor número de trabajos (1 en cada sublínea) con 5% del total.

En el cuadro 6 se muestran las cuatro sublíneas propuestas para la línea *evaluación de riesgos e impacto ambiental*. En esta línea, *impacto ambiental* contó con más proyectos (42), 47% del total, mientras que en *emisiones atmosféricas* se reportó el menor número de trabajos (3), que representan 3% del global.

CUADRO 4. SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN LA LÍNEA DE ECOTOXICOLOGÍA

SUBLÍNEA	TOTAL DE PROYECTOS (%)
Bioacumulación	4 (12)
Biodisponibilidad	3 (9)
Bioindicadores	1 (3)
Biomarcadores	3 (9)
Biomonitoreo	2 (6)
Estudios en ambientes y organismos acuáticos	8 (23)
Pruebas toxicológicas	6 (18)
Toxicología	7 (20)
Total	34 (100)

CUADRO 5. SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN LA LÍNEA DE EFECTOS A LA SALUD

SUBLÍNEA	TOTAL DE PROYECTOS (%)
Emisiones atmosféricas	1 (5)
Epidemiología	3 (14)
Impacto	3 (14)
Salud infantil	1 (5)
Toxicología	13 (62)
Total	21 (100)

CUADRO 6. SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN LA LÍNEA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS E IMPACTO AMBIENTAL

SUBLÍNEA	TOTAL DE PROYECTOS (%)
Emisiones atmosféricas	3 (3)
Estudios en ambientes y organismos acuáticos	39 (44)
Impacto ambiental	42 (47)
Toxicología	5 (6)
Total	89 (100)

En el cuadro 7 se muestran las dos sublíneas propuestas para la línea de *monitoreo y modelaciones*. En esta línea, *monitoreo* contó con más proyectos (17) que representan el 90% del total, mientras que en *modelos* se reportó el menor número de trabajos (2), es decir, 10% del total.

CUADRO 7. SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN LA LÍNEA DE MONITOREO Y MODELACIONES

SUBLÍNEA	TOTAL DE PROYECTOS (%)
Modelos	2 (10)
Monitoreo	17 (90)
Total	19 (100)

En el cuadro 8 se muestran las tres sublíneas propuestas para la línea de *tecnologías de tratamiento*. En esta línea, *agua* contó con un mayor número de proyectos (13) que representan 47% del total, mientras que en *residuos peligrosos* se reportó el menor número de trabajos (6), es decir, 21% del total.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Las investigaciones reportaron que las principales fuentes de financiamiento que utilizan para la eje-

CUADRO 8. SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN LA LÍNEA DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

SUB-LÍNEA	TOTAL DE PROYECTOS (%)
Agua	13 (47)
Residuos peligrosos	6 (21)
Suelo	9 (32)
Total	28 (100)

cución de sus proyectos son los fondos nacionales (de la iniciativa privada y públicos) como internacionales. Al momento de la elaboración del estudio se identificaron 191 estudios realizados por estos investigadores cuya estructura de financiamiento se indica en el cuadro 9.

CUADRO 9. FUENTES DE FINANCIAMIENTO DE LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN MATERIA DE COP

FINANCIAMIENTO	CANTIDAD (PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL DE ESTUDIOS)
Público	181 (95)
Privado	1 (1)
Internacional	9 (4)

CAPACITACIÓN

En cuanto a la capacitación académica afín al tema de los COP el cuadro 10 (página siguiente) muestra los cursos y centros de investigación que los imparten. De los cursos impartidos destacan los temas de:

- Ecotoxicología
- Toxicología y toxicología acuática
- Impacto ambiental
- Métodos analíticos en la detección de COP
- Modelaciones
- Hidrogeoquímica

CAPACIDADES ANALÍTICAS PARA MONITOREO Y EVALUACIÓN DE COP

Técnicas analíticas para aire

Fueron seis los centros de investigación que reportaron técnicas analíticas para COP en aire, según se indica en el cuadro 11.

Técnicas analíticas para agua

Fueron 14 los centros de investigación que reportaron técnicas analíticas para COP en agua (algunas están en proceso de montaje) según se muestra en el cuadro 12.

Técnicas analíticas para organismos

Se identificaron 16 centros de investigación que reportaron técnicas analíticas para COP en organismos (algunas en proceso de montaje) según lo reportado en el cuadro 13.

TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA SEDIMENTOS

Se identificaron 15 centros de investigación que reportaron técnicas analíticas para COP en sedimentos (algunas en proceso de montaje) según aparece en el cuadro 14.

TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA OTRAS MATRICES

Se identificaron ocho centros de investigación que reportaron técnicas analíticas para COP en otras matrices no contempladas, según se indica en el cuadro 15.

EQUIPO INSTRUMENTAL

Los centros de investigación que reportaron equipo instrumental del que disponen para el análisis de COP fueron 20; el cuadro 16 presenta la lista completa de dichas instituciones.

CONCLUSIONES

La capacidad de investigación en materia de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) en la República mexicana se localiza principalmente en 25 cen-

CUADRO 10. CURSOS IMPARTIDOS POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	CURSO
Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS en Puebla	Toxicología y sus ámbitos
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas	Asesorías de tesis sobre contaminantes persistentes y aves
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Hermosillo	Tópicos de toxicología de los alimentos (posgrado). Técnicas de detección de residuos tóxicos (posgrado)
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán	Nivel posgrado e investigadores. Field methods in water and sediment ecotoxicology: theory and practice (2001); Molecular tools in ecotoxicological research and environmental impact assessment (2001); Ecotoxicología acuática (teórico-práctico) (2002); Métodos numéricos en ecotoxicología (2003); Plaguicidas y vida silvestre (2003)
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.	Contaminación marina a nivel posgrado. Toxicidad reproductiva masculina por exposición a contaminantes ambientales. Toxicología ambiental. Toxicología básica. Contaminantes persistentes y sus efectos en la diversidad de Costa Rica y Nicaragua
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)	Ecotoxicología ambiental. Ecotoxicología nivel posgrado. Impacto ambiental
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Geoquímica acuática. Radiactividad en el ambiente marino. Química. Modelos de ingeniería ambiental, Facultad de Ingeniería. Modelación numérica de procesos ambientales. Hidrogeoquímica. Métodos biológicos para la detección de toxicidad por contaminantes químicos en aguas residuales y naturales (2000). Restauración de acuíferos contaminados por hidrocarburos. Transferencia de tecnología de bioensayos a municipalidades de América (2000)
Instituto Mexicano del Petróleo Instituto Politécnico Nacional	Toxicología de plaguicidas. Pruebas especiales en hematología Mutagénesis y carcinogénesis. Inmunotoxicología. Toxicología ambiental (maestría). Toxicología ambiental (licenciatura)
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Laboratorio de análisis instrumental. Técnicas de análisis de compuestos orgánicos persistentes en matrices de tejido animal (pez, pollo, cerdo vacuno), sedimentos y tejido vegetal Transporte y destino de contaminantes. Maestría en ingeniería ambiental Fisicoquímica de los sistemas ambientales
Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa.	Histopatología. Toxicología acuática
Universidad Autónoma de Aguascalientes	Toxicología acuática (maestría). Recursos naturales y desarrollo rural de ECOSUR: Ecología costera (maestría)
Universidad Autónoma de Baja California	Contaminación marina. Temas selectos de química analítica
Universidad Autónoma de Campeche	Ecotoxicología. Monitoreo ambiental. Herramientas para el diagnóstico ambiental y manejo de la zona costera. Toxicología básica y clínica

(Continúa)

CUADRO 10. CURSOS IMPARTIDOS POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	CURSOS
Universidad Autónoma de Nayarit	Toxicología. Contaminación I. Toxicología ambiental. Determinación de micotoxinas por HPLC, 2000. Problemática de las micotoxinas en México. Contaminación por agroquímicos
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Evaluación de riesgos en salud. Análisis de la contaminación por COP (posgrado). Se han realizado talleres para la enseñanza del ELISA como un método para la detección de dioxinas
Universidad Autónoma de Sinaloa	Curso de maestría. Contaminación marina (licenciatura). Calidad del agua (maestría)
Universidad Nacional Autónoma de México	Contaminación acuática (posgrado). Uso de biomonitores y biomarcadores, como indicadores de contaminación ambiental. Alteraciones génicas espontáneas e inducidas (2002). Selección sexual (2002). Evaluación de ambientes contaminados de alto riesgo. Los Azufres, Michoacán. 2003

CUADRO 11. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE COP EN AIRE POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA MONTADA
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.	Caracterización química por cromatografía de gases masas
Instituto Politécnico Nacional	CALUX ASSAY para la detección de dioxinas, furanos y/o bifenilos policlorados en diferentes matrices ambientales y biológicas.
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	EPA 23. Muestreo para la determinación de dioxinas y furanos policlorados en fuentes fijas EPA 29. Muestreo de metales pesados en fuentes fijas EPA 8081. Análisis de Bifenilos Policlorados y pesticidas clorados EPA 8310-001. Determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares por HPLC con detector de fluorescencia NMX-AA-051-1981. Determinación de mercurio por espectrometría de absorción atómica en vapor frío
Universidad Autónoma de Baja California	PAH, PCB y DDT
Universidad Autónoma de Sinaloa	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
Universidad Nacional Autónoma de México	Plaguicidas organoclorados y organofosforados

CUADRO 12. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE COP EN AGUA POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA MONTADA
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas	Proceso de montaje, fecha aproximada de montaje de técnica: mayo de 2004
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán	Organoclorados. Agua de lagunas y drenes
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Hermosillo	Cd, Cu, Zn, Pb, As, Hg
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.	PAH, plaguicidas organoclorados y PCB disueltos/dispersos
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)	Metales en agua dulce y marina por espectrofotometría de absorción atómica
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Determinación de plaguicidas organoclorados. Batería de pruebas de toxicidad aguda y crónica. Batería de pruebas de toxicidad para análisis de extractos o de contacto directo. Extractos: con <i>Daphnia magna</i> aguda y crónica, <i>Selenasrum capricornutum</i> , <i>Vibrio fischeri</i> , <i>Artemia salina</i> , <i>Hydra attenuata</i> . Genotoxicidad Ames, Microfluctuación y Mutatox
Instituto Politécnico Nacional Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	CALUX ASSAY EPA 8081. Análisis de bifenilos policlorados y pesticidas clorados. EPA 8310-001. Determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares por HPLC con detector de fluorescencia. EPA 8270. Determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares espectrometría de masas. NMX-AA-051-1981. Determinación de mercurio por espectrometría de absorción atómica en vapor frío.
Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa	EAA
Universidad Autónoma de Campeche	La utilizada por el laboratorio de contaminación marina en Mónaco, (International Atomic Energy Agency, Marine Environmental Laboratory)
Universidad Autónoma de Nayarit	Cristalería. Equipo: muticentador para extracción soxhlet, rotavapor, mufla, balanza analítica, estufas, cromatógrafo de gases. Reactivos: los indicados por la técnica para grasa de leche (Noa 1995). Para organismos marinos (UNEP/FAO/IAEA 1986)
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Contaminantes orgánicos en agua y en elutriado
Universidad Autónoma de Sinaloa	Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Determinación de plaguicidas, BPC e HPA
Universidad Nacional Autónoma de México	Plaguicidas organoclorados y organofosforados

tros repartidos entre universidades e institutos, a lo largo del país. La región eentral (Aguascalientes, Ciudad de México, Estado de México, Puebla, Morelos, Querétaro y San Luis Potosí) cuenta con el mayor número de instituciones dedicadas al estudio de este tipo de contaminantes con 12, mientras que en la región del noroeste (Baja California, Sinaloa y Sono-

ra) se localizan seis centros de investigación en el sureste del país (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) hay tres centros, en el noreste (Nuevo León) se cuenta con un centro al igual que la zona occidente (Veracruz) y la oriente (Nayarit).

De los investigadores consultados, 30 tienen el grado de doctor y cuentan con una alta especialización

CUADRO 13. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE COP EN ORGANISMOS POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA MONTADA
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas	Organismos (sangre, grasa, etc.): en proceso de montaje, fecha aproximada de montaje de técnica: mayo de 2004
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán	Organoclorados. Tejidos y organismo completo
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Hermosillo	Ca, Mg, Cu en hemolinfa y As en orina
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.	PAH, plaguicidas organoclorados y PCB en hígado y músculo Metabolitos de PAH en bilis y orina. Técnicas de biología molecular para la evaluación de efectos biológicos y toxicidad en cultivos celulares de humanos y animales. Cuantificación de los niveles de plomo en líquido seminal y espermatozoides por espectrofotometría de absorción atómica. Cuantificación de los niveles urinarios de metabolitos de plaguicidas organofosforados por cromatografía de gases. Determinación de la estructura de la cromatina espermática en humanos y roedores por citometría de flujo. Determinación de los grupos tioles libres en el núcleo espermático por citometría de flujo. Distribución de zinc en el núcleo espermático por microscopía de fluorescencia. Sangre, hígado y tejido.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)	Actividad acetilcolinesterasa (AtCh). Citocromo P450 (EROD). Plaguicidas. Se tiene la infraestructura para realizar la extracción de los pesticidas organoclorados en suero de aves en el CIBNOR y se pretende montar, estandarizar y certificar esta microtécnica completa. También se ha trabajado en colaboración con gente en España en donde se han realizado análisis en muestras de tejido utilizando pequeñas cantidades de tejido (0.5 g de muestra). Organoclorados y hidrocarburos poliaromáticas en almejas y tejidos de tortugas (hígado, riñón, músculo y grasa). Análisis de elementos mayores y traza por espectrofotometría de absorción atómica.
Instituto Mexicano del Petróleo Instituto Politécnico Nacional	Aductos ADN-HAP en sangre y tejidos de plantas o fauna CALUX ASSAY

(Continúa)

CUADRO 13. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE COP EN ORGANISMOS POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA MONTADA
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	EPA 8081. Análisis de bifenilos policlorados y pesticidas clorados EPA 8310-001. Determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares por HPLC con detector de fluorescencia EPA 8270. Determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares espectrometría de masas. NMX-AA-051-1981. Determinación de mercurio por espectrometría de absorción atómica en vapor frío
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa	Técnicas histológicas, tinción hematoxilina-eosina, histoquímicas (PAS). Determinación por EAA (espectrofotometría de absorción atómica). Determinación de proteínas de estrés. Metalotioneinas
Universidad Autónoma de Aguascalientes	Gold, G.B., G. A. Acuña y J. Morrel 1987. Manual CARIPOL/IOCARIBE para el análisis de hidrocarburos del petróleo en sedimentos y organismos marinos. Elaborado bajo la supervisión de J. Albaiges, J.E. Corredor y J. Grimalt. EPA. 1980. Modification of Mills, Onley, Gaither method for the determination of multiple organochlorine pesticides and metabolites in human or animal adipose tissue. Manual of analytical methods for the analysis of pesticides in human and environmental samples
Universidad Autónoma de Baja California	PAH, PCB y DDT
Universidad Autónoma de Campeche	Tejido de organismos como camarón, tejido adiposo y leche materna
Universidad Autónoma de Nayarit	Cromatógrafo de gases. Reactivos: los indicados por la técnica UNEP/IAEA (1982)
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Se trabaja en sangre, grasa, tejidos, leche de cangrejos, peces, lagartos, aves y humanos
Universidad Autónoma de Sinaloa	Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Determinación de plaguicidas, BPC e HPA
Universidad Nacional Autónoma de México	Plaguicidas organoclorados y organofosforados

CUADRO 14. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE COP EN SEDIMENTOS POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA MONTADA
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas	Sedimentos: en proceso de montaje, fecha aproximada de montaje de técnica: mayo de 2004
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán	Organoclorados. Superficiales de lagunas y drenes
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Hermosillo	Cd, Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, As, Hg
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.	PAH, plaguicidas organoclorados y PCB en sedimentos

(Continúa)

CUADRO 14. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE COP EN SEDIMENTOS POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA MONTADA
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Organoclorados y hidrocarburos poli aromáticos. Elementos mayores y traza por espectrofotometría de absorción atómica Determinación de plaguicidas organoclorados. Batería de pruebas de toxicidad para análisis de extractos o de contacto directo. Extractos: con <i>Daphnia magna</i> aguda y crónica, <i>Selenasrum capricornutum</i> , <i>Vibrio fischeri</i> , <i>Artemia salina</i> , <i>Hydra attenuata</i> .). Genotoxicidad Ames, Microfluctuación y Mutatox. Contacto directo: <i>Vibrio fischeri</i> y <i>Hyalella azteca</i> .
Instituto Politécnico Nacional Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	CALUX ASSAY EPA 8081. Análisis de bifenilos policlorados y pesticidas clorados. EPA 8310-001. Determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares por HPLC con detector de fluorescencia. EPA 8270. Determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares espectrometría de masas. NMX-AA-051-1981. Determinación de mercurio por espectrometría de absorción atómica en vapor frío.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa	EAA
Universidad Autónoma de Aguascalientes	Gold, G.B., G. A. Acuña y J. Morrel. 1987. Manual CARIPOL para el análisis de hidrocarburos del petróleo en sedimentos y organismos marinos. Elaborado bajo la supervisión de J. Albaiges, J.E. Corredor y J. Grimalt. UNEP-IAEA. 1982. Determination of DDTs, PCBs, PCCs and other hydrocarbons in marine sediments by gas liquid chromatography. Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 17
Universidad Autónoma de Baja California Universidad Autónoma de Campeche	PAH, PCB y DDT El empleado por el laboratorio de contaminación marina de Mónaco, (International Atomic Energy Agency, Marine Environmental Laboratory)
Universidad Autónoma de San Luis Potosí Universidad Autónoma de Sinaloa	DDT en sedimentos Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Determinación de plaguicidas, BPC e HPA
Universidad Nacional Autónoma de México	Plaguicidas organoclorados y organofosforados

en el tema; de ellos 16 tienen el nivel I en el SNI y dos el nivel III. En las instituciones donde laboran se imparte una variedad importante de cursos afines al tema, e incluso algunos investigadores fungen como profesores invitados en universidades del extranjero. A pesar del escaso número de investigadores en el país (42 en una nación de cien millones de habitantes), es

posible precisar que en muchos centros de investigación se están preparando estudiantes (desde nivel licenciatura hasta doctorado) en el tema de COP; además, se cuenta con una plantilla docente suficientemente especializada. De esta manera, se contribuye a la formación de recursos humanos en materia de COP y áreas afines.

CUADRO 15. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE COP EN OTRAS MATRICES POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA MONTADA
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.	Inhibición de colinesterasas. Inducción de enzimas asociadas al Citocromo P-450 (EROD, ECOD, etc.). Análisis de metabolitos de PAH en bilis y orina. Inducción de vitelogenina en organismos macho
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán	Alimento de camarón
Universidad Autónoma de Aguascalientes	Desarrollo de pruebas de toxicidad usando invertebrados dulceacuícolas. Pruebas agudas y pruebas con biomarcadores potenciales como la inhibición de la ingestión en el cladóceros <i>Daphnia magna</i> Strauss, o técnicas de inhibición de enzimas esterases y fosfolipasas A2 usando rotíferos del género <i>Lecane</i> .
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)	Plaguicidas
Instituto Politécnico Nacional	CALUX ASSAY
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Dioxinas en suelos mediante el método de ELISA.
Universidad Autónoma de Baja California	Metales traza, LAB, organoestañados
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)	Nutrientes en agua dulce y marina

CUADRO 16. EQUIPOS INSTRUMENTALES PARA ANÁLISIS DE COP POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	EQUIPOS INSTRUMENTALES
Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS en Puebla	Creatinmina por método de Jaffe Proteínas por diversos métodos. Nitritos nitros por método de Gries Na y K por falomometría, electrodo ion sensible y absorción atómica AA. Marcadores de estrés oxidativo
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas	Cromatógrafo de gases con detector de ECD y espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito, generación de hidruros y vapor frío. Horno de microondas para digestión y extracción (en proceso de instalación)
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán	Cromatógrafos de gases con detectores FID, NPD y ECD. Cromatografía de gases. Detector ECD, NPD, FID
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Hermosillo	Espectrofotómetro de absorción atómica equipado con generador de vapor e hidruros y horno de grafito. Horno de microondas
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.	Dos cromatógrafos de gases Hewlett Packard 5890 Series II, equipados con detectores de ionización en llama y captura de electrones. Equipo de HPLC Alltech. Equipo HPLC Beckman. Cromatógrafo de gases-

(Continúa)

CUADRO 16. EQUIPOS INSTRUMENTALES PARA ANÁLISIS DE COP POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	EQUIPOS INSTRUMENTALES
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)	<p>masas. Técnicas de biología molecular. Espectrofotometría de absorción atómica (horno de grafito). Microscopía de fluorescencia. Citometría de flujo</p> <p>Lector de microplaca (AtCh). Espectrofotómetro de UV (EROD)</p> <p>Cromatógrafo de gases (plaguicidas). Cromatografía de gases con detector de electrones. Cromatografía de gases MS. Espectrofotometría de absorción atómica (flama aire acetileno, horno de grafito y generador de hidruros)</p>
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	<p>Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas. <i>Daphnia magna</i> aguda y crónica, <i>Selenasrum capricornutum</i>, <i>Vibrio fischeri</i>, <i>Artemia salina</i>, <i>Lactuca sativa</i>, <i>Hydra attenuata</i>: áreas climatizadas y controladas, microscopios ópticos y estereoscópicos, lector de Elisa, Equipo MICROTOX, recirculadores, cámaras de incubación, equipo de laboratorio de rutina (balanza, autoclave, heladeras, medidores de OD, conductividad, etc.) calibrados y/ o verificados dentro de sistema de AC/GC. <i>Hyalella azteca</i>: sistema de flujo continuo, áreas climatizadas. Y los equipos de uso diverso de aplicación en laboratorio. Genotoxicidad, Prueba de AMES y MUTATOX. Análisis poblacional de macro invertebrados bentónicos</p>
<p>Instituto Mexicano del Petróleo</p> <p>Instituto Politécnico Nacional</p> <p>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey</p>	<p>HPLC Mod. 1100 Marca HP</p> <p>Flurómetro, material para manipulación de células, etc.</p> <p>Cromatógrafo de gases/acoplado con espectrometría de masas. Marca Hewlett-Packard. 5890 serie II/5989 A. Cromatógrafo de gases/acoplado con espectrometría de masas. Marca Agilent 5973. Cromatógrafo de gases con detectores de captura de electrones y fósforo-nitrógeno Marca Hewlett-Packard. 5890 serie II. Cromatógrafo de gases con detectores de captura de electrones y FID. Marca Hewlett-Packard. 5890 serie II. Cromatógrafo de líquidos HPLC con detectores de índice de refracción, fluorescencia y ultra violeta. Marca Shimadzu LC10A.</p> <p>Espectrofotómetro de absorción atómica con generador de vapor frío. Marca Varian SpectrAA-300plus. Espectrofotómetro de Plasma Acoplado Inducido. Marca Thermo Jarrell Ash. AtomScan 16.</p>
<p>Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa</p>	<p>Procesador de tejidos de Leica modelo TP1020. Centro de inclusión de Leica modelo EG1140H. Placa de enfriamiento de Leica modelo EG1140C. El Micrótopo utilizado es del modelo HM315. Sistema de transferencia de tejidos. Horno de microondas para digestión marca CEM modelo MARS 5x. Microscopio. Cámara digital 5megapx. Zoom 8X</p>

(Continúa)

CUADRO 16. EQUIPOS INSTRUMENTALES PARA ANÁLISIS DE COP POR CENTRO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUCIÓN	EQUIPOS INSTRUMENTALES
Universidad Autónoma de Aguascalientes	GC-MS y se están montando algunas de las técnicas que se requieren para el monitoreo ambiental de COP. Para las pruebas toxicológicas se trabaja con un microscopio de luz y el uso de análisis de imagen. Se ha desarrollado la prueba de toxicidad aguda con D. magna de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-087-SCFI-1995. Cromatógrafo de gases Hewlett-Packard modelo 5890, con detector de ECD. Cromatógrafo de gases Perkin Elmer autosystem con detectores FID, PID y ELCD. Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 3110.
Universidad Autónoma de Baja California	GC-ECD para PCB y DDT confirmación con GC-MSD. GC-MSD para PAH
Universidad Autónoma de Campeche	Cromatógrafo Varian Mod. 3800. Cromatógrafo Fissons Mod. 6600 Rotavapores Buche, cristalería y materiales adecuados para las determinaciones
Universidad Autónoma de Nayarit	Cromatógrafo de gases HP 5890 serie A, equipado con detector de captura de electrones e integrador. Columna capilar específica para organoclorados. Y estándar de 16 compuestos organoclorados: Alfa, beta, gamma, delta HCH, heptacloro, heptacloro epoxi, aldrin, dieldrin, endosulfan I, II y sulfato, endrin, endrin aldehído, p,p´DDD, p,p´DDE y p,p´DDT para sedimentos y organismos
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Cuatro cromatógrafos de gases (dos acoplados a captura de electrones y dos acoplados a espectrometría de masas). Dos cromatógrafos de líquidos acoplados a diversos detectores. Laboratorio de ELISA para dioxinas.
Universidad Autónoma de Sinaloa	Cromatografía atmosférica. Cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14, con detectores EC y FID. Cromatógrafo de líquidos Shimadzu LC10Ai, con detectores de fluorescencia y UV. Espectrofotómetro UV-vis. Cámaras de electroforesis, centrifugas, liofilizador, microscopio, cristalería y equipo general de laboratorio
Universidad Nacional Autónoma de México	Cromatografía de gases. HPLC. Espectrometría de masas Para la determinación de metales pesados, se cuenta con un equipo de absorción atómica equipado con horno de grafito y flama
Universidad Veracruzana	Cromatógrafos de gases con detector EC. Espectrómetro de masas

Los proyectos de investigación que se desarrollan en cada uno de estos centros se clasificaron en cinco líneas de investigación: ecotoxicología, efectos

en la salud, evaluación de riesgos e impacto ambiental, monitoreo y modelaciones, y tecnologías de tratamiento.

La línea con más proyectos realizados fue la de *evaluación de riesgos e impacto ambiental* con 89 estudios, mientras que en el campo de *monitoreo y modelaciones* se reportaron el menor número de estudios (19). Es indispensable reforzar estas líneas de investigación apoyando propuestas en estos temas.

En cuanto a la capacidad de los centros de investigación para realizar distintos tipos de análisis, se puede precisar que existe la capacidad técnica e instrumental para realizar análisis en una extensa variedad de matrices; sin embargo, esta capacidad se encuentra muy concentrada en unas cuantas instituciones, por lo que debe promoverse el equipamiento de otros centros de investigación. Los resultados obtenidos a través de este estudio demuestran también que la capacidad analítica es insuficiente para algunos estudios, como para las dioxinas y furanos.

Los compromisos adquiridos por el país a través del Convenio de Estocolmo implican una serie de acciones que deberán incluir a la investigación como una de las actividades centrales. Esto permitirá identificar y actualizar la situación a nivel nacional, de los doce COP incluidos en el Convenio. De igual forma, es necesario considerar a otras sustancias que

aunque no están actualmente en la lista del Convenio es posible que se incluyan en un futuro cercano. Puede entonces aprovecharse la capacidad de investigación e infraestructura analítica para ampliar el estudio de estas sustancias.

Es necesario recomendar una acción coordinada entre distintos sectores, de tal manera que se dé cumplimiento a las actividades establecidas en el Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo. Para lograrlo, se deberán identificar las actividades relevantes y necesarias en materia de gestión, monitoreo y evaluación, fortalecimiento de capacidades, inspección y vigilancia, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

- INE 2004. Identificación de las capacidades y necesidades de investigación en México en materia de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP).
- Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes 2001. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- UNEP 2002. *Ridding the world of POPs: A guide to the Stockholm Convention on persistent organic pollutants*. United Nations Environmental Programme, Suiza.



Miguel Ángel Martínez Cordero. Jefe de departamento de Evaluación de riesgos al ambiente. Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos, DGICURG, Instituto Nacional de Ecología. Correo-e: mmartine@ine.gob.mx.

Arturo Gavilán García. Jefe de departamento de Estudios de análisis comparativos de riesgo ambiental. Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos, DGICURG, Instituto Nacional de Ecología. Correo-e: agavilan@ine.gob.mx.