

PROCESOS DE CONTAMINACIÓN DE HUMEDALES EN EL SURESTE DE MÉXICO

Pollution Processes of Wetlands in the Southern of Mexico

Alfonso V. Botello¹, Guadalupe Ponce-Vélez¹ y Susana Villanueva F¹.

RESUMEN

Los humedales constituyen ambientes diversos de la zona costera con una de las más altas productividades del planeta. Nuestro país cuenta con una vasta región de estos ecosistemas en el Golfo de México cuya riqueza biológica representa un aporte económico importante así como un factor social determinante; es por ello que en este trabajo se presentan los diferentes grupos de contaminantes generados por las actividades humanas, que son acumulados en el agua, los sedimentos y los organismos, sobre todo aquellos destinados al consumo humano y cuyo contenido de sustancias peligrosas como cadmio, plomo, mercurio, hidrocarburos aromáticos del petróleo, plaguicidas organoclorados, representa una amenaza ecológica y de salud pública.

Palabras clave: Humedales, Contaminación, Impacto Ambiental, Zona Costera, Pantanos.

ABSTRACT

The wetlands constitute one of the most diverse environments at coastal zones, having the largest production rates in the earth. Our country posses a great amount of these ecosystems in the Gulf of Mexico and the Pacific coast. Their biological richness plays an important role for the economical contribution as well as a major social issue. Thus, in this paper are presented the levels of different groups of pollutants in the water flows, sediments and organisms collected in wetlands of the Gulf of Mexico coast; mainly in species reserved to human consumption whose contents of dangerous chemicals as Cd, Pb, Hg, Hydrocarbons aromatics of Petroleum and pesticides, represent a risk to coastal ecosystems and public health.

Key words: Wetlands, Pollution, Environmental impact, Coastal zone.

Introducción

Los humedales comprenden diversos ambientes tanto naturales como artificiales que se caracterizan por estar temporal o permanentemente inundados por aguas dulces, estuarinas (salobres) o salinas e incluyen las regiones marinas que no excedan los 6 metros de profundidad con respecto al nivel medio de las mareas bajas.

Bajo esta definición quedan comprendidos estuarios, lagunas costeras, canales de marea o esteros, bajos y barras de lodo o arena, manglares, pastos marinos, arrecifes de coral, pantanos estuarinos y dulceacuícolas, ríos, marismas, bosques pantanosos, selvas bajas inundables, lagos y lagunas de agua dulce, oasis, cenotes, lagunas hipersalinas y algunas bahías. También

ambientes creados por el hombre, como presas, lagos artificiales, chinampas y arrozales, algunos sistemas agrícolas, canales, drenes y represas artificiales, estanques acuícolas, salinas artificiales, norias, pozos y lagunas de oxidación.

Mamíferos como el manatí y la nutria; reptiles como los cocodrilos; anfibios como el ajolote; moluscos, crustáceos y peces de importancia pesquera como ostiones, camarones, lisas y pargos, y aves como garzas y egretas, son algunas de las especies de fauna exclusivas de los humedales.

Dentro de los humedales quedan comprendidos los ecosistemas más productivos de la biosfera. Su elevada fertilidad mantiene una rica y compleja cadena alimenticia que en algunos casos trasciende en una elevada producción pesquera. Gran parte de la fertilidad de estos ecosistemas es exportada e incrementa la riqueza pesquera de la zona marina adyacente.

1. Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-305, México 04510 D.F.

Entre los humedales más importantes desde el punto de vista pesquero se encuentran las lagunas costeras con aguas estuarinas, que son depresiones topográficas por abajo del nivel medio de las mareas altas, separadas de la energía del mar por una barrera y con comunicación al mar a través de bocas permanentes o efímeras.

Otro de los humedales con mayor cobertura en México es el ecosistema de manglar, que tiene una extensión de 6600 km², superior a la de la mayoría de los países tropicales. Está constituido por vegetación arbórea de la zona de mareas en las regiones tropicales y subtropicales y presenta una gran variedad de formas que van desde un bosque bien desarrollado hasta matorrales dispersos en las marismas o formando parte de asociaciones vegetales únicas, como los petenes.

De extraordinaria importancia son también las barreras de coral, que se caracterizan por su elevada biodiversidad de corales, esponjas, moluscos y peces. Estos arrecifes se distribuyen en tramos paralelos a la línea de costa formando atolones con una laguna interior.

En México se encuentran igualmente representados los pantanos estuarinos, los pantanos dulceacuícolas como los popales y tulares, los bosques pantanosos como los zapotales y ahuehuetes, así como las marismas, las selvas bajas inundables como las anonas, los tasitales, los tintales y los oasis.

Dentro de los humedales artificiales destacan las presas hidroeléctricas y otros sistemas que se remontan a la época prehispánica, como las chinampas y los sistemas agropiscícolas y chontales.

Los humedales tienen una elevada producción pesquera, son refugio de flora y fauna silvestres y brindan una gran variedad de bienes, servicios, usos y funciones de gran valor para la sociedad y las especies silvestres. Actúan como fuentes de agua para uso del hombre, sistemas de recarga del manto freático, filtros biológicos para mejorar la calidad del agua, fuentes de energía, barrera de huracanes, vías de comunicación, banco de genes, etc. Son útiles también en el control de inundaciones y erosiones, y en la protección de costas.

El alto nivel de productividad de los humedales es uno de los factores de su gran importancia económica.

Por otra parte, la capacidad de algunos humedales para aminorar los efectos de tormentas tropicales ha

propiciado programas de reforestación en algunos países.

Los humedales han resultado también más eficientes y económicos que los métodos tradicionales para remover el nitrógeno y el fósforo, así como algunos metales pesados. Por último, el turismo asociado a los humedales se ha traducido en una de las principales fuentes de ingresos en muchos países insulares, así como en regiones colindantes de América del Norte, Sur y Centroamérica.

Descripción de áreas

El Golfo de México representa casi 30% del litoral del país y 62% de la descarga de ríos, y posee 70% de todos los ríos, estuarios, lagunas y pantanos costeros. Entre estos humedales destaca el manglar, considerado en la región del Golfo de México como el más importante en extensión y estado de conservación.

Laguna de Términos forma parte del delta del río Usumacinta, al igual que Pantanos de Centla. Ambos sistemas conforman una unidad ecológica que debe ser protegida integralmente. Campeche era el único litoral que hasta 1994 no contaba con áreas costeras protegidas.

Laguna de Términos es uno de los ecosistemas lagunares estuarinos más extensos e importantes de México: 200 108 hectáreas de superficie lagunar, incluyendo sus sistemas fluvio-lagunares asociados. Su planicie costera forma parte de la compleja llanura deltaica del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta, cuyas descargas de agua dulce y terrígenos hacia el mar son las mayores del país.

En Laguna de Términos se registran hasta el momento 374 especies vegetales de 84 familias, tres de las cuales se encuentran catalogadas como amenazadas y una en peligro de extinción. Se registra también una alta diversidad faunística de 1468 especies de fauna, que comprenden vertebrados terrestres y acuáticos. De éstas, 30 especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos se consideran como endémicas para el país.

Además, se reportan 79 especies con algún riesgo o en peligro de extinción, como son la cigüeña jabirú, el manatí, el cocodrilo y algunos felinos, así como ocho especies raras y tres vulnerables a cambios en su hábitat. Del total de especies de fauna reportadas, 48 de aves y mamíferos tienen importancia cinegética y 132 son importantes por su comercio.

En suma, el área de protección abarca una superficie de 719518 hectáreas, de las cuales 16.7% corresponden a las zonas núcleo, 0.3% a la de amortiguamiento de uso restringido y 82.9% a la de amortiguamiento de uso intensivo.

Los principales factores de deterioro ambiental son la contaminación por hidrocarburos procedentes de las operaciones en la zona de plataformas marinas. Más de 96% del petróleo y 90% de producción de gas se producen en el Golfo de México. En las principales ciudades, como Ciudad del Carmen, Champotón y Campeche, la principal fuente de contaminación es la descarga de aguas negras y servidas. La deforestación en la costa para ganadería, la alteración de flujos por carreteras y canales, el uso intensivo de plaguicidas en agricultura y campañas de salud, son otros factores de deterioro ambiental en la región. Dos tercios del territorio mexicano drenan en el Golfo de México y los efectos de la alteración humana han sido críticos. Esta alteración puede inducir una extensa y permanente pérdida de pantanos, manglares y pastos marinos.

Se considera que al entrar en vigor la etapa de manejo, las principales pautas para la protección de la flora y fauna de la región involucrarán y comprometerán a todos los usuarios del sistema, sugiriéndose diversas estrategias y acciones para un equilibrio entre el uso sostenible de los recursos naturales mediante las diversas actividades productivas que deben ser ordenadas, y la conservación de los hábitats críticos, que aseguren el uso de estos recursos a las generaciones futuras.

Procesos de contaminación

El término contaminación se define generalmente como: "Las alteraciones deletéreas que se presentan en el ambiente como resultado de las diversas actividades humanas".

De este modo la contaminación se inició en el planeta con la presencia del hombre hace miles de años; sin embargo, los problemas originados por la contaminación se hicieron patentes después de la revolución industrial casi al final del siglo XIX, y desde entonces hasta nuestros días el grado y la severidad de la contaminación ha estado incrementándose paulatinamente (Gordon y Walton, 1972).

Los contaminantes presentes en el medio marino pueden ser divididos en dos distintas categorías: naturales y artificiales.

Los primeros son productos de procesos naturales, incluyéndose en esta categoría: componentes no

refinados del petróleo, metales pesados como mercurio y cadmio y sustancias nutrientes derivadas del nitrógeno y del fósforo. Los contaminantes artificiales son aquellos que no se presentan naturalmente, sino que han sido sintetizados por el hombre, como ciertos productos refinados del petróleo, hidrocarburos halogenados como el DDT y los bifenilos policlorinados (BPCs), plásticos, detergentes y elementos radioactivos.

Según Foyn (1969), cuando se estudia la introducción de desechos en un cuerpo de agua deben ser considerados dos procesos que influyen directamente sobre la distribución y abundancia de estos desechos en un área determinada. Dichos procesos se encuentran resumidos en la tabla 1.

Desechos radioactivos

La mayor contribución de materiales radioactivos hacia el océano ha resultado de la detonación de armas nucleares llevadas a cabo principalmente por los Estados Unidos de Norteamérica, Reino Unido, India, Rusia, China y Francia. Hasta 1988 se había registrado 579 explosiones nucleares de las cuales el océano recibió una parte substancial de los desechos radioactivos originados por éstas.

Otra fuente importante de desechos radioactivos es la presencia de un gran número de plantas nucleares en las zonas costeras del mundo, a partir de las cuales y en un tiempo determinado podría originarse un océano peligrosamente radioactivo.

Existen tres tipos de especies radioactivas producidas artificialmente y que son introducidas al océano por el hombre:

- 1) los combustibles nucleares como son el Uranio 235 y el Plutonio 238;
- 2) los productos de fisión originados por el uso de combustibles nucleares como el Estroncio 90 y el Cesio 137, y
- 3) los productos de activación que son el resultado de la interacción de partículas nucleares con los componentes de los reactores como el Zinc 65 y el Hierro 55.

Análisis recientes de organismos que habitan en las zonas costeras como *Mytilus edulis*, *Crassostrea virginica*, *Mya arenaria*, fitoplancton y algunas especies bentónicas, demuestran la presencia de elementos radioactivos tales como ^{238}Pu y ^{90}Sr en las mencionadas

Tabla 1. Principales procesos que influyen sobre la introducción y distribución de desechos en el ambiente marino.

PROCESOS DE DILUCIÓN	PROCESOS DE CONCENTRACIÓN
Solución	Concentración Biológica
Dilución Iónica	Precipitación Química
Difusión Turbulenta	Floculación
Transporte por Corrientes	Adsorción
Transporte Biológico	Sedimentación

Los desechos provenientes de las diversas actividades humanas pueden clasificarse en las categorías siguientes:

- Desechos Radioactivos
- Desechos Industriales
- Petróleo y Petroquímica
- Agua de Enfriamiento
- Desechos de Agricultura
- Desechos Domésticos

Según Foyn, 1969

especies, lo cual es una prueba concluyente de la liberación continua de desechos radioactivos hacia las costas teniendo como resultado la bioacumulación de estos elementos por los sistemas biológicos (Noskin *et al.*, 1971; Wong *et al.*, 1972; Woodhead, 1972).

Hidrocarburos fósiles

La contaminación por petróleo y sus derivados es un problema que en la actualidad ha despertado un gran interés por parte de la comunidad científica, principalmente después de los desastres ecológicos producidos por los derrames de petróleo de buques petroleros como el Torrey Canyon en Inglaterra, el Tampico Maru en las costas de Baja California, el Amoco Cádiz en las costas de Bretaña en Francia, el Exxon Valdéz en el litoral de Alaska, así como el del Pozo Ixtoc I en la sonda de Campeche, México, donde fueron derramadas aproximadamente unas 300,000 toneladas de petróleo crudo. Estimaciones de la década de los 70's (NAS, 1975), indican que un total de 6.2 millones de toneladas de petróleo crudo son introducidas al océano a través de diversas fuentes, siendo el transporte marítimo el que mayor cantidad de petróleo crudo aporta al medio marino con aproximadamente 2.2 millones de tons/año. Del total de petróleo introducido al océano, el 28% tiene como destino final las zonas costeras, según Gundlach (1977).

Las principales fuentes de hidrocarburos fósiles en el océano y las zonas costeras son:

1) Sustancias generadas por las actividades humanas.

2) Hidrocarburos biogénicos y producidos naturalmente por organismos marinos.

3) Hidrocarburos que fluyen a través del fondo de los océanos.

Debido a su compleja naturaleza y a las dificultades en su análisis, los estudios sobre los efectos que causan la presencia de hidrocarburos en los sistemas vivos han sido muy limitados.

En concentraciones bajas, del orden de $0.1 \mu\text{gg}^{-1}$, inhiben la fotosíntesis y retardan la división celular y el crecimiento del plancton (Mironov, 1970; Parker, 1974). En concentraciones mayores a $1 \mu\text{gg}^{-1}$, producen la muerte de gran cantidad de especies fitoplanctónicas, así como de larvas y huevecillos de peces, los cuales flotan junto con el plancton.

En los organismos bentónicos y principalmente en los bivalvos como *Crassostrea virginica* y *Mytilus edulis* que son de hábitos filtradores para la obtención de su alimento y son sésiles, el petróleo o sus componentes llegan a través de pequeñas partículas suspendidas, las cuales se fijan en los tejidos proporcionando un sabor y olor característicos a petróleo, con lo cual decrece la calidad comercial de estas especies y en ocasiones dichas partículas obstruyen el sistema respiratorio produciendo la muerte por asfixia de gran cantidad de bivalvos (Simpson, 1968; Spooner, 1968; Blumer *et al.*, 1970).

En peces adultos el petróleo parece tener efectos de tipo mecánico más que biológico, ya que al depositarse sobre las branquias las cubre sin permitir el inter-

cambio gaseoso con lo cual mueren por asfixia (Mironov, 1970). También el grado de toxicidad de estos contaminantes es muy variable según la especie de que se trate, pero por lo general en concentraciones de 0.5 a $10\mu\text{gg}^{-1}$ dañan los órganos de los sentidos alterando la quimiorrecepción, produciendo además erosión y destrucción de las células que forman el epitelio branquial (Bardach *et al.*, 1965; Scheier y Cairns, 1966).

Metales pesados

Como consecuencia de las actividades humanas, el ingreso de metales pesados a los sistemas estuarinos y costeros es considerable. Sin embargo, su impacto sobre los recursos marinos no ha sido claramente establecido. Los efectos resultantes de la introducción de metales pesados en el medio acuático, son complejos dado el escaso conocimiento que se tienen de los factores que regulan su destino final en las aguas.

Los oligoelementos están presentes en la hidrosfera en concentraciones del orden de microgramos por litro (Tabla 2). La mayoría de los metales pesados o potencialmente tóxicos son miembros de la familia de los elementos de transición en la tabla periódica, los cuales son altamente reactivos y por lo tanto fácilmente acumulados en minerales y organismos en el medio acuático.

En ausencia de aportes humanos, los procesos de intemperismo y vulcanismo son las vías principales de entrada de oligoelementos desde los continentes hacia los océanos. Las fuentes "culturales" de estos elementos, por otra parte están generalmente asociadas con los fenómenos de erosión debido al uso intensivo

de los suelos y a la descarga de desechos domésticos e industriales.

Los materiales continentales son transportados a los océanos por los ríos, glaciares y el sistema de vientos, estimándose que esta movilización se ha incrementado de 9.3×10^9 ton/año a 24×10^9 ton/año (Judson, 1968) y se considera además que el transporte de oligoelementos se ha aumentado proporcionalmente.

La mayoría de las descargas intencionales de materiales continentales y desechos producidos por el hombre se vierten sobre la plataforma continental y generalmente consisten en materiales dragados de puertos y canales de acceso, fangos de aguas cloacales, cenizas de plantas termoeléctricas y una amplia variedad de residuos líquidos y sólidos subproductos de la industria química. Los metales pesados acumulados en organismos acuáticos representan un riesgo para la salud humana; las tragedias ocurridas en Minamata, Japón, son prueba elocuente de la toxicidad de algunos metales pesados, en esos casos, el mercurio acumulado en alimentos marinos.

Si bien se han tratado de establecer regulaciones basadas en los efectos que los metales pesados tienen sobre los organismos acuáticos, los conocimientos actuales son aún limitados.

Plaguicidas y compuestos organoclorados

La historia de los hidrocarburos clorinados comienza con la introducción del insecticida comúnmente conocido DDT (Dicloro difenil, tricloroetano) por Muller en 1939; el que fue puesto en uso en gran escala

Tabla 2. Concentración promedio de oligoelementos potencialmente tóxicos en las aguas de ríos y océanos.

ELEMENTOS	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g/L}$)	
	OCÉANOS	RÍOS
Ag	0.28	0.30
As	2.60	2.00
Cd	0.11	N.D.
Cr	0.20	1.00
Cu	2.00	7.00
Hg	0.15	0.07
Ni	2.00	0.30
Pb	0.03	3.00
V	1.90	0.90
Zn	2.00	20.00

N.D. No existen datos confiables

después de la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, pocos años después en 1946 se observó que muchos insectos habían desarrollado una resistencia al DDT, lo cual ocasionó la aparición de nuevos y más potentes insecticidas.

Estimaciones de Whittemore (1973), afirman que aproximadamente 50,000 toneladas de DDT se empleaban anualmente en diversas regiones del mundo para el desarrollo de la agricultura (Tabla 3).

Diversos estudios realizados a partir de 1965 demostraron que la presencia de DDT y sus metabolitos afectaban grandemente el poder de reproducción de ciertos tipos de aves como el halcón y el pelicano café (Ratcliffe, 1965; Hickey y Anderson, 1968; Wurster, 1969; Peakall, 1970; Pocker *et al.*, 1971).

De igual manera, investigaciones realizadas sobre la mortandad de peces y otras áreas costeras como la desembocadura del Mississippi y la Bahía Barataria, realizaron esta mortandad con la presencia de Endrín en estas zonas (Odum, 1968; Rowe *et al.*, 1971).

Posteriormente, con el muestreo y análisis continuos de ejemplares biológicos se demostró la presencia de otros hidrocarburos clorinados aparte del DDT y sus metabolitos, denominados BPCs o bifenilos policlorinados siendo también considerados como contaminantes del ambiente, notándose que están ampliamente dispersos (Eisdelman, 1963; Holmes

et al., 1967; Jensen *et al.*, 1969; Koeman *et al.*, 1969; Risebrough, 1969) siendo producidos en la actualidad por un gran número de países debido a sus múltiples usos industriales (Tabla 4).

Una vez que los BPCs se identificaron, se observó que estaban presentes en casi la totalidad de las muestras analizadas. Investigadores de Woods Hole Oceanographic Institution, detectaron altos niveles de BPCs en muestras de plancton, encontrando que las concentraciones en muestras de océano abierto eran de 10 a 100 veces mayores que aquellas de zonas costeras y también que los niveles de BPCs eran mayores en el plancton que en peces (Holden, 1970).

Actualmente está bien establecido que tanto los hidrocarburos clorinados como los BPCs han alcanzado todas las regiones del medio marino (Frost, 1969). Bildeman y Olney (1973) confirman su amplia distribución en el Mar de los Sargazos y Harvey (1974) muestra que residuos industriales de BPCs y DDT están presentes en el Atlántico desde los 66°N hasta los 35°S de latitud.

Desechos domésticos

La gran mayoría de este tipo de desechos proviene de las ciudades y centros urbanos, siendo calculado que cada individuo libera aproximadamente un promedio

Tabla 3. Estimación anual del empleo de DDT en actividades de la agricultura (Ton/Año) Según Whittemore, 1973

REGION	PAISES PRODUCTORES DE ALGODÓN		PAISES NO PRODUCTORES DE ALGODÓN	TOTAL
	Algodón	Otras Cosechas	Otras Cosechas	
América Central	7,580	2,500	383	10,513
Sudamérica	18,800	6,200	1,180	26,180
Africa	2,186	729	605	3,520
Asia	5,568	1,523	410	7,501
TOTAL	34,134	11,002	2,578	47,714

Tabla 4. Producción estimada de BCPs en ciertos países (Tons). OECD, 1971.

PAIS	CANTIDAD
U.S.A.	18,000
República Federal de Alemania	8,000
Francia	7,600
Reino Unido	5,000
Japón	6,800
Italia	1,500
España	1,500
Otros países	1,500
TOTAL	48,000

de 60 a 100 litros de agua de desechos por día. Una vez liberados estos desechos llegan al mar y a la zona costera a través de los ríos y los estuarios, debido al empleo de las áreas cercanas a las bahías, lagunas costeras y estuarios como sitios de desarrollo industrial y urbano (Botello, 1978).

Estos desechos son una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos, bacterias, hongos, virus, protozoarios y algunos parásitos. Para determinar el grado de contaminación por desechos domésticos se emplea el método de conteo de bacterias coliformes las cuales son detectadas en el afluente o en la cuenca receptora; condiciones antiestéticas sobre las playas o cerca de las descargas son los efectos más aparentes de este tipo de contaminación. La presencia de bacterias y algunos virus causan enfermedades considerables al hombre, ya sea directamente o por el consumo de alimentos marinos conteniendo estos microorganismos.

Debido a que los países ribereños actualmente necesitan del empleo de sus recursos naturales como fuentes de producción, se ha incrementado de manera considerable el uso de áreas cercanas a las bahías, lagunas costeras y estuarios como sitios de desarrollo y expansión industrial, pero al mismo tiempo se están incrementando los niveles de contaminación de esas áreas.

Este problema representa en la actualidad un gran reto, ya que es indudable que los países en desarrollo necesiten una creciente industrialización y urbanización; pero por otro lado es necesario un manejo adecuado y una administración de las zonas costeras para evitar su deterioro ambiental y preservar los recursos naturales que se desarrollan en ellas como fuentes primordiales de alimentación.

Sin duda se logrará solamente con el manejo racional de la zona costera sin poner en peligro el equilibrio ecológico de las comunidades que habitan estas áreas.

Procesos de transferencia y dispersión de contaminantes

Además de la gran importancia que representa el control del aporte de contaminantes al medio marino, es necesario tener un amplio conocimiento sobre sus mecanismos de entrada y los procesos de transferencia y dispersión de los mismos hacia los diversos componentes como organismos, columna de agua y sedimentos.

Transferencia. Estos procesos son de considerable interés ecológico y sumamente necesarios para poder establecer cálculos de balance de masas.

La gran mayoría de materiales de desecho de nuestra sociedad actual son generados en el continente, existiendo 3 mecanismos de transferencia de los mismos hacia nuestras zonas costeras y océanos:

- 1) Descargas de ríos.
- 2) Transporte atmosférico y precipitación.
- 3) Descargas municipales e industriales.

Recientemente el vertimiento de materiales de desecho en zonas costeras por medio de embarcaciones de un país a otro se ha incrementado, pudiéndose considerar también como un mecanismo importante de transferencia de contaminantes en el ambiente marino y sobre todo en el costero.

De igual manera, se ha enfatizado la enorme importancia del transporte atmosférico para la transferencia o movilización de contaminantes de los continentes a los océanos.

Así, el movimiento de los productos de fisión de pruebas y accidentes nucleares a través de la estratosfera y su posterior precipitación sobre virtualmente todas las partes del planeta, son una clara demostración del citado mecanismo.

Otros productos tóxicos como los agroquímicos principalmente el DDT y sus metabolitos, también son fácilmente movilizados por el transporte atmosférico comprobándose que virtualmente todo organismo marino exhibe concentraciones detectables de estos compuestos.

Algunos metales pesados como plomo, mercurio y cadmio, también son movilizados alrededor del planeta por corrientes atmosféricas y precipitados por lluvia en zonas costeras distantes de su punto de origen.

Los ríos también son una fuente importante para los procesos de transferencia de los contaminantes en los océanos y principalmente las zonas costeras, cuyas descargas con materiales tóxicos afectan singularmente estas áreas.

Desgraciadamente los procesos de dispersión oceánica no son lo suficientemente rápidos para distribuir de manera efectiva los materiales aportados por ríos, más aún, la mayoría de los ríos que atraviesan ciudades altamente industrializadas descargas en áreas costeras, mares marginales o cuencas en donde la

mayoría de los materiales particulados que acarrearán o aun algunas sustancias disueltas son atrapadas.

Actualmente se carece de suficiente información para calcular estimaciones razonables sobre la cantidad de contaminantes críticos al ambiente marino mundial a través de las diferentes rutas de entrada. Sin embargo, en la Tabla 5 se da una perspectiva sobre los flujos de algunos materiales dentro del Ciclo Global Sedimentario (Goldberg, 1976).

Entendemos por dispersión el efecto total de los diferentes procesos que actúan para producir la uniformidad en la distribución espacial. Hay dos clases principales de procesos que originan esa dispersión:

- 1) advectivo o convectivo, que entraña el transporte de contaminantes, dando así lugar a un cambio local de la concentración;
- 2) difusivo, que entraña un intercambio local aleatorio de la propiedad (agua) sin causar ningún transporte neto del agua.

La dispersión absoluta es la dispersión observada con relación a un origen fijo, o dispersión de un punto. Cuando la dispersión se observa con respecto a un origen móvil, se llama dispersión relativa (dispersión de dos o más partículas).

A su vez, la dispersión física de los contaminantes está influida por los factores mesológicos, tales como:

- el viento, las olas superficiales.
- las radiaciones (recibidas y emitidas), la convección, la evaporación y la precipitación.
- las distribuciones de la salinidad, la temperatura y la densidad o flotabilidad.

- las corrientes y las distribuciones de las corrientes, incluidas mareas y otros efectos rotacionales.
- la turbulencia (movimiento turbulento tridimensional) y las olas internas.

Además de estos factores físicos, por lo común interrelacionados, existen los factores químicos y biológicos y sus interacciones.

Niveles de contaminación

A continuación se comentarán algunos niveles de contaminantes reportados para la zona costera de los estados de Veracruz y Tabasco por diversos investigadores.

Hidrocarburos del petróleo

Sedimentos. Los sedimentos son el destino final y la zona de almacenamiento de todos los contaminantes vertidos en los océanos y zonas costeras. Además, ofrecen un registro cronológico de los eventos ocurridos en dichos ecosistemas. De ahí la enorme importancia de realizar en ellos la evaluación del contenido de diversos contaminantes, particularmente los hidrocarburos del petróleo. En la tabla 6 se anota que los sedimentos de los ríos Tonalá y Coatzacoalcos, así como de la Laguna del Ostión, en el estado de Veracruz, son los sistemas costeros que presentan las mayores concentraciones de hidrocarburos del petróleo, con 1148, 680 y 120 μgg^{-1} respectivamente; en cambio, la Laguna de Mecocacán, en Tabasco y la de

Tabla 5. Flujo de materiales en el Ciclo Global Sedimentario.

MATERIAL	SITIOS DE RECEPCIÓN	FLUJO 10^{14}g/año
Sólidos suspendidos de ríos	Océanos y zona costera	180
Sólidos disueltos de ríos	Océanos y zona costera	39
Glaciares	Océanos	30
Rocas Continentales y partículas	Atmósfera	1-5
Sales Marinas	Atmósfera	3
Cenizas Volcánicas	Estratósfera	0.04
Cenizas Volcánicas	Atmósfera	1.5
Desechos industriales y municipales	Hidrosfera, litósfera y atmósfera	30
Desechos vertidos por barcos	Océanos	1.4
Combustión de hidrocarburos fósiles	Atmósfera	0.25
Partículas industriales	Atmósfera	0.55

Goldberg, 1976

Términos, en Campeche presentan niveles bajos de componentes del petróleo en sus sedimentos, al igual que la Laguna de Nichupté, en Quintana Roo: 88, 85 y 93 μgg^{-1} , respectivamente.

Organismos. El grupo de los moluscos bivalvos ha sido de los más ampliamente usado en los ecosistemas costeros del Golfo de México como organismos bioindicadores de contaminación por petróleo, en particular la especie *Crassostrea virginica*, la cual representa un recurso pesquero litoral importante en esta región. Asimismo, se han realizado investigaciones con otros recursos biológicos, como son los peces y crustáceos en zonas donde las actividades relacionadas con el petróleo pueden causar deterioros ambientales.

Toledo (1988) realizó una recopilación de datos obtenidos a través de una investigación multidisciplinaria, en donde se observa que 19 especies de organismos estuarinos del área del río Coatzacoalcos, incluyendo peces, crustáceos y moluscos destinados al consumo humano, presentaron niveles de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) con niveles promedio de 6 μgg^{-1} (peces), 1.8 μgg^{-1} (crustáceos) y 7.5 μgg^{-1} (moluscos). Algunos compuestos aromáticos identificados fueron: el benzo(a)pireno, criseno y pireno cuyo potencial carcinogénico y riesgo para la salud humana están bien documentados en la literatura (Tabla 6).

Los análisis de organismos registrados a la fecha, señalan que los ostiones son el grupo más afectado por los hidrocarburos fósiles, principalmente aquellos

provenientes de la Laguna del Ostión (0.50 μgg^{-1}) y el Río Tonalá en Veracruz, así como los peces y crustáceos evaluados de diversos sistemas costeros del Golfo de México (Toledo *et al.*, 1989).

Metales traza

Los metales son introducidos en los ambientes marinos y costeros como fruto del lixiviado de suelos, intemperismo de rocas, erupciones volcánicas y una gran variedad de actividades, como la minería, fundiciones, cromado y del uso del metales y sustancias con contenidos metálicos, sobre todo en procesos industriales. A pesar de que algunos metales, (manganeso, hierro, cobre y zinc) son micronutrientes esenciales, otros como mercurio, cadmio y plomo son tóxicos para los organismos y el hombre, sobre todo si sus niveles en el ambiente son altos.

La mayoría de los metales son insolubles en agua, pero son fácilmente adsorbidos al material particulado como la materia orgánica o los sedimentos, desde donde pueden a su vez ser asimilados por los organismos. Por lo tanto, en los océanos y las costas son los organismos bentónicos los más afectados por la concentración de metales debido a su alta interacción con los sedimentos. En general, todos los metales muestran una gran afinidad por los sulfuros; algunos, como el mercurio, el cadmio y el plomo, ejercen efectos tóxicos al combinarse con proteínas que contengan aminoácidos con núcleos sulfurosos.

Tabla 6. Concentración promedio de Hidrocarburos del Petróleo en Agua, Sedimentos y Organismos de Sistemas Costeros de Veracruz y Tabasco.

Localidad	Agua μgL^{-1}	Sedimentos μgg^{-1}	Organismos μgg^{-1}	Referencias
Veracruz				
L. Pueblo Viejo	-	53	-	Botello y Macko, 1982
L. Tamiahua	-	31	-	Botello y Macko, 1982
L. Alvarado	-	18	-	Botello y Macko, 1982
L. Ostión	18.4	120	850c	Botello y Páez-Osuna, 1984
R. Coatzacoalcos	-	680	6a, 1.8b, 7.5c	Toledo <i>et al.</i> 1989
R. Tonalá	-	1148	-	Toledo <i>et al.</i> 1989
Tabasco				
L. Carmen	4	45	-	Botello y Macko, 1982
L. Machona	7	45	-	Botello y Macko, 1982
L. Mecoacán	5	88	-	Botello y Macko, 1982
Límite Permisible	10	70	-	UNESCO, 1976

a=peces, b=crustáceos, c=moluscos.

Siendo los sedimentos el reservorio final de los metales en los ambientes acuáticos, la concentración de éstos es entre 10^3 a 10^7 veces mayor que la concentración de los mismos en la columna de agua.

Así, el análisis de los metales en partículas suspendidas, sedimentos y organismos nos provee de una información más completa sobre el origen, las rutas, los destinos y los efectos de éstos en los ambientes acuáticos. Una de las principales características de los metales en los ambientes acuáticos es la de que los organismos pueden llegar a almacenar en sus tejidos elevadas concentraciones de un cierto metal, proceso al cual se le llama **Bioacumulación**, y su consecuente aumento en niveles tróficos superiores, proceso denominado **Biomagnificación**.

Estos dos procesos son responsables de los graves problemas ambientales que pueden originarse, cuando se introducen, sin control al ambiente acuático, metales que sean potencialmente tóxicos como mercurio, plomo, cadmio, cromo y arsénico, principalmente.

Agua. Las investigaciones efectuadas sobre metales pesados y elementos traza disueltos/particulados de áreas costeras del Golfo de México, son relativamente escasas. La información compendiada en la Tabla 7, señala que los niveles en las aguas del sur del Golfo de México son el resultado del desarrollo urbano e industrial. Principalmente para el área del estuario del Río Coatzacoalcos, Veracruz, en donde Ochoa *et al.* (1973) determinó un contenido medio de mercurio de $30 \mu\text{gL}^{-1}$ y el cual sobrepasa el límite máximo

permisible para aguas costeras, que es de $0.5 \mu\text{gL}^{-1}$ (SEDUE, 1986). En algunas lagunas de los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, los contenidos de plomo, cadmio y cromo, sobrepasaron también el límite máximo permisible, que es de 6.0, 0.9 y $1.0 \mu\text{gL}^{-1}$, respectivamente (SEDUE, 1986).

Sedimentos. El contenido de metales traza en los sedimentos de las áreas costeras del Golfo de México se encuentran en general dentro del intervalo para ambientes sin impactar. Las excepciones fueron el Hg para el estuario del Río Coatzacoalcos en los años de 1973, 1975 y 1984, con datos excepcionalmente altos: 0.5, 8.31 y $51.27 \mu\text{gg}^{-1}$, respectivamente (Tabla 8). Esta fuerte variación de un año a otro puede deberse a que los desechos de las industrias que se encuentran asentadas en esa área son irregulares y de diversa índole. Destacan los complejos petroquímicos más grandes de América Latina, como Cangrejera, Pajaritos y Cosoleacaque, la refinera de PEMEX, Fertilizantes de México, la Industria Química del Istmo, Tetraetilo Mexicano y la Azufrera Pamanericana. Los contenidos para el estuario del Río Coatzacoalcos son, sin duda alguna, el ejemplo más claro de los incrementos de los contaminantes en la zona costera, debido a la falta de control y regulación sobre el vertimiento. Su impacto ambiental es severo e irreversible, por lo que se supone que aún logrando suspender totalmente la llegada de los contaminantes por un tiempo prolongado, éstos sedimentos serán una fuente importante de contaminación para el área (Botello y Páez-Osuna, 1986; Villanueva y Botello, 1992).

Tabla 7. Concentración Promedio y Desviación Estándar de Metales Traza (μgL^{-1}) en Agua de Sistemas Costeros de Veracruz y Tabasco

Localidad	Hg	Pb	Cd	Cr	Referencias
Veracruz					
L. Pueblo Viejo	-	-	-	51 ± 21	Robledo, 1987
L. Tamapamachoco	<0.2	46 ± 29	1 ± 5	1 ± 5	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Mandinga	<0.2	125 ± 356	2 ± 1	4 ± 1	Rosas <i>et al.</i> 1983
R. Coatzacoalcos	30 ± 10	17 ± 7	-	-	Ochoa <i>et al.</i> 1973
R. Coatzacoalcos	7 ± 15	-	-	-	Báez <i>et al.</i> 1975
R. Coatzacoalcos	-	12 ± 3	-	-	Pérez-Zapata <i>et al.</i> 1984
Tabasco					
L. del Carmen	0.4 ± 0.1	40 ± 78	-	-	Pérez-Zapata, 1981
L. del Carmen	<0.2	43 ± 55	13 ± 40	9 ± 3	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Machona	0.4 ± 0.3	100 ± 104	-	-	Pérez-Zapata, 1981
L. Mecoaacán	0.3 ± 0.2	91 ± 91	-	-	Pérez-Zapata, 1981
Límite Máximo Permissible	0.5	6	0.9	1	SEDUE, 1986

Tabla 8. Concentración Promedio y Desviación Estándar de Metales Traza (μgg^{-1} , peso seco) en Sedimentos de Sistemas Costeros de Veracruz y Tabasco

Localidad	Hg	Pb	Cd	Cr	Referencias
Veracruz					
L. Tampamachoco	0.011 \pm 0.005	3.94 \pm 3.01	0.098 \pm 0.091	9.55 \pm 5	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Mandinga	0.028 \pm 0.012	3.34 \pm 3.25	0.015 \pm 0.029	7.43 \pm 8.32	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Alvarado	-	20.15 \pm 14.77	-	109.8 \pm 124.6	Rosales <i>et al.</i> 1986a
L. Ostión	-	N.D.	N.D.	140.7 \pm 76.1	Páez-Osuna <i>et al.</i> 1986
R. Papaloapan	-	17.31 \pm 30.19	-	66.18 \pm 15.64	Rosales <i>et al.</i> 1986b
R. Blanco	-	32.5 \pm 8.11	1.64 \pm 0.24	76.05 \pm 18.25	Alvarez <i>et al.</i> 1986
R. Coatzacoalcos	0.585 \pm 1.41	-	-	-	Ochoa <i>et al.</i> 1973
R. Coatzacoalcos	8.31 \pm 14.64	-	-	-	Báez <i>et al.</i> 1975
R. Coatzacoalcos	51.27 \pm 6.7	-	-	-	Pérez-Zapata <i>et al.</i> 1984
R. Coatzacoalcos	0.125	43.53 \pm 17.09	1.64 \pm 0.54	71.8 \pm 27.9	Botello y Páez-Osuna, 1986
Tabasco					
L. del Carmen	0.009 \pm 0.003	6.49 \pm 5.18	0.28 \pm 0.21	30.5 \pm 28.6	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Ilusiones	-	158.7 \pm 93.03	N.D.	-	Valencia, 1989
R. Tonalá	-	N.D.	N.D.	N.D.	Villanueva, 1987

N. D. No detectado

La concentración más alta de Pb registrada es para la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, con 158.7 μgg^{-1} . Este contenido se puede relacionar de manera directa con la introducción continua y, en ocasiones, masiva de las aguas residuales, así como de las emisiones atmosféricas provenientes de las áreas urbanas e industriales de la ciudad de Villahermosa, las cuales, a su vez, se transportan a otras regiones del Golfo de México, debido a que el Pb es volátil y tiende a depositarse en áreas distintas a la de su origen, dependiendo del patrón de vientos que predominen en el Golfo de México. Esto también se puede comprobar para el área del Río Coatzacoalcos, en donde el Pb se dispersa como PbO y $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$, llegando de este modo al río, pues este metal se utiliza como un subproducto de la fabricación del antidetonante mexoctano. El efluente, tal y como sale de la fábrica, se recibe en un pozo de lodos donde se decantan los sólidos y se recupera el metal; el líquido sobrenadante es enviado al Coatzacoalcos a través de un ducto que penetra al río. La descarga del plomo a través del ducto es intermitente, dando por resultado que la acumulación sea continua (Ochoa *et al.*, 1973). De los promedios obtenidos de los metales pesados en los sedimentos de los estados del Golfo de México, destaca Veracruz con los mayores contenidos para Cd, Hg y Cr; Tabasco fue para Pb (Tabla 8).

Organismos. En la Tabla 9 se muestran las concentraciones de metales traza para el molusco bivalvo *Crassostrea virginica* en algunas lagunas costeras del

Golfo de México. Los contenidos de Hg, Pb y Cd se encuentran por debajo del límite máximo permisible para ostiones recomendados para el consumo humano por la Oficina de Salud Pública de la Food and Drug Administration (1983), de 2.5, 2.5 y 5.0 μgg^{-1} peso seco, respectivamente.

Los contenidos máximos de Pb correspondieron a las lagunas de Mandinga, Ver., y del Carmen en Tabasco; así, como la alta concentración de Hg de la Laguna de Mandinga puede originarse en las áreas industriales de Córdoba y Orizaba, y transportándose a la zona costera por medio de los ríos Blanco y Jamapa, en Veracruz. Las concentraciones promedio de Hg, Cd y Cr en *Crassostrea virginica* por estado, muestran que Tabasco es de los más altos (Tabla 9).

Actualmente el país, no cuenta con una regulación o legislación sobre los límites máximos permisibles para estos metales en organismos de agua dulce o marina, por lo que es necesario recurrir a la legislación internacional, para determinar si su concentración en especies comestibles es aceptable para el consumo humano y sino produce daños a la salud.

Plaguicidas organoclorados

Los plaguicidas son sustancias que se utilizan para el combate de las plagas que atacan a los cultivos y de los vectores que transmiten enfermedades al hombre y a los animales. Desde épocas remotas el hombre ha

Tabla 9. Concentración Promedio y Desviación Estándar de Metales Traza ($\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco) en *Crassostrea virginica* de Sistemas Costeros de Veracruz y Tabasco

Localidad	Hg	Pb	Cd	Cr	Referencias
Veracruz					
L. Tampamachoco	0.2±0.09	1.86±0.95	2.06±1.2	0.89±0.59	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Mandinga	0.74±1.03	3.03±3.57	1.54±0.98	2.24±2.28	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Ostión	-	N.D.	N.D.	N.D.	Villanueva <i>et al.</i> 1988
Tabasco					
L. del Carmen	1.4±0.1	3.04±3.01	7.09±1.3	4.6±2.17	Pérez-Zapata, 1981
L. del Carmen	0.06±0.08	1.4±1	-	-	Rosas <i>et al.</i> 1983
L. Machona	1.3±1.2	2.3±1.4	-	-	Pérez-Zapata, 1981
L. Mecoacán	1.2±0.9	1.24±0.77	-	-	Pérez-Zapata, 1981
Límite Máximo Permisible	2.5	2.5	5	5	F.D.A., 1983

N.D. = No Detectado

utilizado plaguicidas de origen natural los cuales usaba principalmente para proteger tanto los cultivos como los alimentos del ataque de las plagas. A esta etapa de la historia de los plaguicidas se le suele llamar la "era de los productos naturales". En la tabla 10 se presentan algunos datos del uso de productos naturales en este período, que es el más largo pues abarcó desde antes de Cristo hasta mediados del siglo XIX (Albert, 1990).

En México el uso y la aplicación de los plaguicidas y fertilizantes para propósitos de agricultura y la salud pública se inició en el año de 1946. Actualmente son empleados grandes volúmenes de estos agroquímicos en la superficie agrícola del país, la cual abarca más de 1 millón de hectáreas, en las que se siembran principalmente maíz, sorgo, trigo, arroz, café, caña de azúcar, cocoa, coco y henequén, melón, jitomate y algodón (Restrepo, 1992).

Tabla 10. Historia de los plaguicidas. Era de los productos naturales

AÑO	PLAGUICIDA	LUGAR
400 A.C.	Flores del piretro	Persia
800 A.C.	Azufre	Europa
900 A.C.	Arsenitos	China
1690	Tabaco	Europa
1787	Japón	Europa
1800	Piretrinas	Caúcaso
1845	Fósforo	Alemania
1848	Raíz de Derris	Malaya

Al ser aplicados, los plaguicidas y sus productos de degradación se introducen en las zonas costeras por los ríos, los escurrimientos, las lluvias o bien son transportados por los vientos en forma de aerosoles.

En México, la zona costera adquiere relevancia debido a que en ella existe una gran diversidad y abundancia de especies de gran importancia económica. Sin embargo, los ecosistemas que la conforman han sido severamente dañados por problemas de contaminación. La originada por plaguicidas adquiere una singular relevancia (Botello y Páez-Ozuna, 1986).

Sedimentos. En la tabla 11 se aprecia que los niveles más elevados de plaguicidas organoclorados en sedimentos recientes corresponden a las lagunas de Carmen-Machona y Mecoacán, Tabasco con 137.6 y 97.4 ng g^{-1} respectivamente. Según Rosales (1979) y Botello (1990), se debe a las actividades del Plan Chontalpa donde se emplean y liberan cantidades importantes de plaguicidas y herbicidas que al ser lixiviados de los suelos de cultivo, son arrastrados por la lluvia hasta los sistemas lagunares. Aquí su interacción con la materia orgánica y el material coloidal suspendido hace que se fijen y sedimenten, permaneciendo por largos períodos dependiendo de las condiciones presentes en los sedimentos, de la remoción sedimentaria o la bioturbación y que les permitan ser nuevamente incorporados a la columna de agua y por corrientes transportarse hacia la zona costera adyacente (Botello y Páez-Osuna, 1986).

Organismos. Al igual que en el caso de los sedimentos, los estudios sobre los niveles de concentración de plaguicidas organoclorados en los organismos estuarinos o marinos son sumamente escasos.

A pesar de que las concentraciones de plaguicidas determinadas por algunos autores son bajas, es decir del orden de partes por billón (ngg^{-1}) estos compuestos pueden provocar la disminución en el crecimiento de la concha hasta en 80% de algunos moluscos como las ostras en niveles de 0.1 ngg^{-1} (Restrepo, 1988). Otros estudios indican que el DDT tiene marcados efectos sobre la sobrevivencia y crecimiento de larvas de moluscos, ya que en concentraciones de $0.05 \mu\text{gg}^{-1}$ causan en 14 días el 90% de mortalidad y detiene por completo su proceso de crecimiento (Davis, 1961).

En la tabla 11 se anotan las concentraciones promedio de plaguicidas organoclorados determinadas por diversos autores para organismos de las lagunas costeras del Golfo de México. Es notable, que la mayoría de estos estudios han sido conducidos en el molusco *Crassostrea virginica* debido a su condición de organismo sedentario y filtrador y además que ha sido empleado con gran éxito como un bioindicador de procesos de contaminación a nivel mundial.

Se observa que las concentraciones más bajas de plaguicidas organoclorados en *C. virginica* se registraron para la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, en tanto Rosales (1979) reportó valores de 17.2 ngg^{-1} para la Laguna del Carmen, de 0.5 ng/g en la Laguna de Machona y 9.3 ngg^{-1} para la de Alvarado, todos ellos inferiores a los reportados por Botello (1990) para esos cuerpos de agua, lo cual nos indica su tendencia a incrementarse en función del tiempo (Tabla 11).

En general, la presencia de plaguicidas en algunas especies de peces pueden tener diversos efectos: la toxicidad aguda daña principalmente al sistema nervioso central con un resultado de inestabilidad y

movimientos lentos o inactividad; algunos de los efectos crónicos son: acumulación de residuos en las grasas, daño en el hígado, disminución en la reproducción, reacción más lenta a los estímulos externos, pérdida de apetito, crecimiento restringido y baja resistencia a las enfermedades; provocan daño en las agallas y como consecuencia disminuye la tolerancia a las bajas concentraciones de oxígeno (Giam *et al.*, 1972).

Contaminación bacteriológica

Los microorganismos como fuentes de contaminación son muy diversos y se distribuyen en todo tipo de habitats, aún en los más hostiles. Además existen organismos característicos para cada ambiente, los cuales son importantes por que pueden modificar al ambiente de diversas maneras; igualmente tienen efectos tanto perjudiciales y/o benéficos, pero éstos últimos los sobrepasan a los primeros.

Las bacterias constituyen aproximadamente el 80% de la biosuperficie en el ecosistema marino, siendo fundamentales en la adsorción y transferencia de contaminantes a otros organismos; además, tienen funciones muy diversas en el ecosistema, pero básicamente es la de mantener el equilibrio, por lo tanto, cuando las aguas negras, desechos industriales u otros contaminantes son introducidos al sistema acuático, ocurren alteraciones que deben ser neutralizadas por algunos microorganismos de la flora nativa, que juegan un papel importante en la autodepuración. Sin esos microorganismos la contaminación sería aún más grave (Colwell 1979; Galindo 1988).

Tabla 11. Concentración Promedio de Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos y Organismos (ngg^{-1}) de Sistemas Costeros de Veracruz y Tabasco.

Localidad	Sedimentos	Organismos	Especie	Referencias
Veracruz				
L. Pueblo Viejo	16.2	-	-	Rosales <i>et al.</i> 1979
L. Tampamachoco	-	1.1	<i>C. virginica</i>	Rosales <i>et al.</i> 1979
L. Alvarado	0.66	9.3	<i>C. virginica</i>	Rosales <i>et al.</i> 1979
L. Alvarado	20	39.2	<i>C. virginica</i>	Botello, 1990
L. Alvarado	-	0.53	<i>C. undecimallis</i>	Botello, 1990
L. Ostión	3.6	0.57	<i>R. flexuosa</i>	Botello y Páez, 1986
Tabasco				
L. del Carmen	-	17.2	<i>C. virginica</i>	Rosales <i>et al.</i> 1979
L. del Carmen	17.3	22.5	<i>C. virginica</i>	Botello, 1990
L. Machona	-	0.5	<i>C. virginica</i>	Rosales <i>et al.</i> 1979
L. Machona	10.2	29.3	<i>C. virginica</i>	Botello, 1990
L. Carmen-Machona	137.6	-	-	Salas, 1986
L. Mecoacán	97.4	-	-	Salas, 1986

Recientemente la contaminación microbiológica se ha convertido en un tema de gran interés, debido a su estrecha relación con la salud pública. Existe una microflora característica de las aguas negras, constituida principalmente por bacterias. Entre ellas encontramos *Pseudomonas fluorescens*, *Ps. aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Aerobacter cloacae* y *Zoogloe rumigera*. En descargas predominantemente orgánicas, junto con bacterias se pueden encontrar hongos y levaduras.

El indicador más empleado para caracterizar la contaminación bacteriológica es el grupo de bacterias coliformes, que incluye una gran variedad de organismos del grupo entérico bacteriano y a *Escherichia coli* bacteria normalmente no patógena. Unas pruebas positivas para *E. coli* no prueban la presencia de microorganismos enteropatógenos, pero si determinan la posibilidad de la presencia de tales patógenos.

Independientemente del análisis en agua y sedimento, es necesario monitorear la calidad de especies comestibles, sobre todo las que se consumen crudas. Estos organismos potencialmente transmisores de enfermedades incluyen lamelibranquios bivalvos (ostiones, almejas, mejillones, coquillas y escalopas), así como otros miembros del grupo menos conocidos. Todas estas especies son filtradoras, excepto las escalopas, y se encuentran generalmente en aguas estuarinas y costeras sujetas a contaminación por aguas negras. Ya que los filtradores no tienen un mecanismo discriminatorio de alimentación, son vulnerables a la acumulación de bacterias fecales. El contenido bacteriano en estos organismos fluctúa rápidamente con la calidad del agua; y en forma inmediata si se presentan condiciones óptimas de temperatura del agua, lo cual implica que son capaces de desechar cualquier bacteria acumulada cuando mejora la calidad del agua.

El crecimiento de la población, la actividad industrial y agrícola en las costas del Golfo de México, ha incrementado el volumen de descargas de aguas de desecho hacia cuerpos de agua, así como la introducción de nuevos contaminantes. Las consecuencias que ello trae sobre la población y los ecosistemas necesita ser evaluado y controlado.

Las poblaciones urbanas de la costa del Golfo de México, constituyen puntos de grandes aportes de aguas residuales. Aunque existen sistemas de drenaje para la recolección de esas aguas los vertimientos en las costas se realizan sin tratamiento y los aportes

pueden contener hasta 2×10^{18} coliformes/100ml (Rodríguez y Romero 1981), al ser vertidos al mar.

Contaminación bacteriológica en el Golfo de México

En las costas del Golfo de México, se han realizado diversos estudios para valorar la contaminación bacteriológica y la calidad sanitaria del agua, sedimentos y los organismos. Los resultados que se presentan a continuación muestran un panorama general de las condiciones registradas para estas áreas que están, grandemente afectadas por el acelerado crecimiento demográfico e industrial, y de manera notable por las actividades petroleras.

El Golfo de México presenta una acentuada contaminación de tipo microbiológico ya que recibe las descargas generadas de importantes ciudades y de poblaciones menores, la mayor parte de las cuales no proporcionan ningún tratamiento previo a sus desechos. Estos vertimientos, que incluyen tanto aguas domésticas, como de origen industrial, causan daños a la salud debido a la falta de manejo del agua, a la cual se le dan diversos usos: consumo humano cultivo de moluscos bivalvos, pesca y recreación. La zona costera presenta un importante crecimiento poblacional vinculado a las zonas petroleras, pero también existe un crecimiento constante y mal planificado en las áreas rurales que no está directamente relacionado con la extracción y transformación del petróleo; pero debido a la falta de drenajes y servicios públicos se modifica y degrada la calidad del agua.

La pesca y el cultivo de diversas especies para consumo local o nacional, se ven directa y fuertemente afectadas por la contaminación microbiológica las cuales deterioran la calidad de los recursos que se extraen de la zona costera.

Las investigaciones realizadas en el Golfo de México muestran niveles elevados de contaminación microbiológica en esteros y lagunas costeras. Se trata de ambientes de alta productividad expuestos a un estrés ambiental natural, que se ve aumentado por la introducción de microorganismos entéricos que modifican la comunidad natural. Debido al constante aporte de aguas residuales, ricas en microorganismos fecales y materia orgánica, pueden originarse microambientes que favorezcan la permanencia de los organismos ocasionando así una la contaminación microbiológica y la desaparición de

la microflora natural responsable de la autodepuración de las aguas.

Literatura citada

Albert, A.L., 1990. *Los plaguicidas y sus efectos en el ambiente y la salud.* CECODES, México, D.F. 331 p.

Álvarez, R.U., H.L. Rosales y E. A. Carranza, 1986. Heavy metals in Blanco river sediments, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional de Autónoma de México* 13(2):1-10.

Báez, A.P., I. Rosas, R. Nulman y L. Gálvez, 1975. Movimiento de mercurio residual en el estuario del Río Coatzacoalcos. *Anales del Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México* 18: 131-147.

Barbach, J.E., Fujiya, M., y A. Holl, 1965. Detergents effects on the chemical senses of the fish *Ictalurus natalis*. *Science*, 148: 1605-1607.

Blumer, M., Souza, G., y J. Sass, 1970. Hydrocarbons pollution of edible shellfish by an oil spill. *Mar. Biol.*, 5: 195-202.

Botello, A.V., 1978. Presencia de hidrocarburos fósiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.*, 26(Suppl. 1): 135-151.

Botello, A.V., y E.F. Mandelli, 1978. Distribution of n-paraffins in seagrasses, benthic algae, oysters and recent sediments from Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 19(2): 162-170.

Botello, A.V., y S.A. Macko, 1982. Presencia de hidrocarburos fósiles (n-parafinas) en sedimentos recientes de lagunas costeras en el Pacífico de México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México.* 7(1): 159-168.

Botello, A.V., y F. Páez-Osuna, 1984. Evaluación geoquímica del Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes. 1982-1983. Informe final presentado al Centro de Ecodesarrollo. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, D.F.

Botello, A. V. y F. Páez-Osuna, 1986. *El problema crucial: la contaminación.* Serie medio ambiente en Coatzacoalcos. Vol. 1 (Editado por el Centro de Ecodesarrollo). México D.F.:62-85.

Botello, A. V., 1990. Impacto ambiental de los hidrocarburos organoclorados y de microorganismos

patógenos específicos en lagunas costeras del Golfo de México. Informe Final del Proyecto OEA-CONACyT. Septiembre, 1990. 69 pp.

Bryan, G.W., y L.G. Hummerstone, 1973. Adaptation of the polychaete *Nereis diversicolor* to estuarine sediments containing high concentrations of zinc and cadmium. *J. Mar. Biol. Assn.*, 53: 839-844.

Calabrese, A., 1972. How some pollutants affects the embryos and larvae of American oyster and hardshell clam. *Mar. Fish. Rev.*, 34: 66-70.

Connor, P.M., 1972. The acute toxicity of heavy metals to the larvae of some marine animals. International Council for the Exploration of the Sea. C.M. 1971/K, 116p.

Davis, H.C., 1961. Effects of some pesticides on eggs and larvae of oysters (*Crassostrea virginica*) and clams (*Venus mercenaria*). *Commer. Fisheries Review.* 23(12): 8-23.

Day, W.J., y A. Yáñez-Arancibia, 1979. Lagoon estuarine environment as ecosystems. Seminario Latinoamericano sobre Principios y Métodos en Ecología de Lagunas Costeras. Universidad Nacional Autónoma de México-OEA. Cd. del Carmen, Campeche, Camp., México. Junio, 1979. 16-30.

Eidelman, M., 1963. Determination of microquantities of some chlorinated organic pesticides residue in edible fats and oils. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 46: 182-186.

Eisler, R., 1973. Annotated bibliography on biological effects of metals in aquatic environment. *Ecological Research Series EPA-Re-73-007, USA EPA*, 287p.

Food And Drug Administration, 1983. Federal. Regist. Reference. CPG 7108.07.

Foy, E., 1969. Earth, Air and Waste. *Environment*, 11(6): 15-33.

Galindo, R.J.G. 1988. *Contaminación en los ecosistemas costeros. Un enfoque ecológico.* Cuadernos docentes. Coordinación General de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 58 p.

Giam, C. S., A.R.Hanks., R.S. Richardson., W. Sackett y M.K.Wong, 1970. DDT, DDE and PCB in biota from the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Bull. Envir. Contam. Toxicol.* 5(2): 171-180.

Goldberg, E.D., 1976. *The Health of the Oceans.* The Unesco Press, Paris. 172p.

- Gordon, D.C.Jr., y A. Walton., 1972.** Marine Pollution Research. *Ocean. Sci. Rev.*, 2: 67-74.
- Gundlach, R.E., 1977.** Oil Tanker Disaster. *Environment*. 19(9): 16-27.
- Hickey, J.J., y D.V. Anderson, 1968.** Chlorinated hydrocarbons and eggshell changes in raptorial and fish-eating birds. *Science*, 16: 271-273.
- Holden, A.V., 1970.** Source of polychlorinated biphenyl contamination in the marine environment. *Nature*, 228: 783-784.
- Holmes, D.C., Simmons, J.H., y J.G. Tatton, 1967.** Chlorinated hydrocarbons in British wildlife. *Nature*, 216: 227-229.
- Huntzicker, J.J., 1975.** Material balance for automobile emitted lead in Los Angeles Basin. *Environ. Sci. Technol.*, 9: 448-452.
- Jensen, S., 1966.** A new chemical hazard. *New Sci.*, 32: 612-614.
- Jernelov, A., 1974.** Heavy metaloids and synthetic organic. In: E.D. Goldberg (Eds.). *The Sea*. Vol. 5. New York, Wiley, Interscience.
- Koeman, J.H., y H. De Vos., 1969.** Chlorinated biphenyls in fish, mussels and birds from the river Rhine and the Netherlands coastal areas. *Nature*, 221: 1126-1128.
- Lankford, R.R., 1977.** Coastal Lagoons. In: *International Estuarine Research Conference. Galveston, 1975.* Academic Press, New York, New York.
- Mandelli, E.F., 1976.** Pollution Research and Monitoring for Heavy Metals. In: Collected Contributions. IOC/FAO/UNEP. *International Workshop on Marine Pollution in the Caribbean and Adjacent Regions.* Port of Spain, Trinidad and Tobago. 106-145.
- McIntyre, J.D., 1973.** Toxicity of methyl mercury for steelhead trout sperm. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 9: 98-102.
- Mironov, O.G., 1970.** Hydrocarbon pollution of the sea and its influence on marine organisms. *Helgolander Wiss. Meeresunters.*, 17: 335-339.
- Mooser, J.L., Fisher, N., y C.F. Wurster, 1972.** Polychlorinated biphenyls: toxicity to certain phytoplankters. *Science*: 191-192.
- N.A.S., 1975.** *Petroleum in the Marine Environment.* National Academy of Science. *Workshop on inputs, fates and the effects of petroleum in the marine environment.* Airlie House, Virginia. 107p.
- Noskin, V., Bowen, E., Wong, K.M., y J.C. Burke, 1972.** Plutonium in North Atlantic Ocean Organisms: Ecological Relationships. In: D.J. Nelson (Ed.). *Radionuclides in ecosystems.* Proc. Third Nat. Symp. Radioecology. May 10-12, 1971. Oak Ridge, Tenn. Vol. 2: 681-688.
- Ochoa, S. A., G.E. Halfiter y R. Ibarra., 1973.** Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer Seminario sobre la Evaluación de la contaminación Ambiental (Ed. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables). México, D.F. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN: 115-162.
- Odum, E.L.P., 1972.** *Fundamentals of Ecology.* 3rd Edition, W. Saunders Company. 573p.
- Páez-Osuna, F., A. V. Botello y S. Villanueva., 1986.** Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon, Mexico. *Mar. Poll. Bull.*, 11: 516-519.
- Parker, P.L., y D. Menzel, 1974.** Effects of pollutants on marine organisms. In: *Deliberations and recommendations of the NSF/IDOE, Effects of pollutants on Marine Organisms.* Workshop, Sydney British Columbia, Canada, August, 1974. 11-14.
- Peakall, D.B., 1970.** Pesticides and the reproduction of birds. *Sci. Amer.*, 222(4): 72-78.
- Pérez-Zapata, A. J., 1981.** Plomo y Mercurio. In: *Lagunas Costeras de Tabasco. Un ecosistema en peligro.* Centro de Ecodesarrollo: 58-61.
- Pérez-Zapata, A.J., R.I. Deleón y R.A.M. Gil, 1984.** Determinación cuantitativa de plomo en peces del estuario del Río Coatzacoalcos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México.* 28: 193-197.
- Phleger, F.B., 1969.** In: *Lagunas Costeras, Un Simposio.* Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras. Universidad Autónoma de México - UNESCO, México, D.F. 1978.
- Pocker, Y., Beug, W.M., y V.R. Airnadi, 1971.** Carbonic Anhydrase Interaction with DDT, DDE and Dieldrin. *Science*, 74: 1336-1338.
- Preston, A., 1972.** Artificial radioactivity in freshwater and estuarine systems. *Proc. Roy. Soc. (London).* Vol. 180 B: 421-436.
- Pritchard, D.W., 1967.** In: *Estuaries.* Publ. No. 83. American Assoc. For the Advancement of Science. Washington, D.C.

- Ratcliffe, D.A., 1967.** Decrease in eggshell weight in certain birds of prey. *Nature*, 215: 208-210.
- Restrepo, I., 1992.** *Los plaguicidas en México.* Comisión Nacional de Derechos Humanos, México, D.F. 310 pp.
- Risebrough, R.W., 1969.** Chlorinated hydrocarbons in marine ecosystems. In: M.W. Miller and G.C. Berg (Eds.) *Chemical fallout Springfield*, 111 C.C. Thomas Pub. 5-23p.
- Robledo, M.F., 1987.** Evaluación de la calidad del agua y calidad sanitaria del ostión (*Crassostrea virginica*) en la laguna de Pueblo Viejo, Ver., México. Tesis Profesional. Escuela Ciencias Biología, Universidad Tampico, Tamps. 58 p.
- Rodríguez, S.H., y J.J. Romero, 1981.** Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas fluvio-lagunares asociados a la laguna de Términos, Campeche. *Ann. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* 8(1): 63-68.
- Rosales, H.L., E.A. Carranza y R.U. Alvarez., 1986a.** Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México.*, 13: 19-28.
- Rosales, H.L. E.A. Carranza y R.U. Alvarez., 1986b.** Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13: 263-272.
- Rosales-Hoz, M.T.L. y R. Álvarez-León, 1979.** Niveles actuales de hidrocarburos organoclorados en sedimentos de lagunas costeras del Golfo de México. *An. Centro del Mar y Limnol. UNAM.*, 6(2): 1-6.
- Rosales-Hoz, M. T. L. y R. L. Escalona, 1983.** Organochlorine Residues in Organisms of Two Different Lagoons of Northwest, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol. Vol.30:* 456-463.
- Rosas, P.I., A. Báez y R. Belmont, 1983.** Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. *Water, Air and Soil Pollution* 20: 127-135.
- Rowe, D.R., Canter, L.W., Snyder, P.J., y J.W. Mason, 1971.** Dieldrin and Andrin concentrations in a Louisiana estuary. *Pest. Monitor. J.*, 4(4): 117-183.
- Salas, R., 1986.** Estudio hidrológico y nivel de alteración causado por organoclorados en las lagunas Mecoacán y Carmen-Machona, Tabasco, México. Tesis Lic. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1986.** Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas. Serie: Normatividad Ecológica N° 4. Colección Los Básicos. 40 p.
- Sheier, A., y J. Cairns, 1966.** Persistence of gill damage in *Lepomis gibossus* following a brief exposure to alkil benzene sulfonate. *Nat. Phila.*, 39(1): 1-7.
- Simpson, A.C., 1968.** *The Torrey Canyon disaster and fisheries.* Ministry of Agriculture Fisheries and Food. London. 73p.
- Spooner, M.F., 1968.** Preliminary work of comparison toxicities of some oil spill dispersants and few tests with oil and corexit. *Mar. Biol. Assoc.*, 13: 157-162.
- Toledo, A., 1988.** *Energía, ambiente y desarrollo.* Centro de Ecodesarrollo. Vol. XV. 382pp.
- Toledo, A., A.V. Botello, M. Herzig, M. Páez, L. Bozada, F. Contreras, M. Cházaro y A. Baez, 1989.** La Contaminación en la región del Río Coatzacoalcos. *Ciencia y Desarrollo. CONACYT. XV(86):* 27-46.
- UNESCO, 1976.** Guide to operational procedures for the IGOSS pilot project on Marine Pollution (petroleum). Monitoring Manual and guides No. 7.
- Valencia, J. J. J., 1989.** Registro sedimentario de metales pesados en la Laguna de las Ilusiones, Villahermosa. Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Básicas- Biología. Unidad Sierra. 100 p.
- Villanueva, F.S., 1987.** Evaluación de metales pesados en sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México. Tesis Profesional. ENEP Zaragoza. UNAM. México. 82 p.
- Villanueva, F.S., A.V. Botello y F. Páez-Osuna, 1988.** Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México. *Contaminación Ambiental* 4:19-31.
- Villanueva, F.S. y A.V. Botello, 1992.** Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 8: 47-61.