



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

**Evaluación del impacto en ambientes  
acuáticos relacionados con la industria  
petrolera**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
(Ecología y Ciencias Ambientales)

**P R E S E N T A**

**VÍCTOR MANUEL GARCÍA VÁZQUEZ**

DIRECTOR DE TESIS: DR. DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN  
CODIRECTOR DE TESIS: DRA. MARIA DEL CARMEN GONZÁLEZ  
MACIAS

MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatorias

A Ruth, Ednita y Andrea

Dedico esta tesis a las personas que más amo en esta vida, a ti Ruth por tu valiosa compañía a lo largo de todos estos años que hemos pasado juntos, por tu apoyo, confianza y dedicación. A ustedes, Ednita y Andrea, por ser el motor que impulsa mi vida y esperando que de esto tomen el mejor ejemplo, y que sirva de aliciente para las metas que se fijen en la vida.

## Agradecimientos

Con todo mi cariño y admiración agradezco a **mis padres** por su apoyo, lo que representó mi formación, las privaciones y sacrificios. Gracias por todo lo que he recibido de ustedes.

A **mis hermanos y hermanas** por todo el apoyo y comprensión, por formar parte de todos aquellos momentos alegres y tristes que hemos vivido, por soportarme.

A **mis sobrinos**, por ser una parte importante en mi vida, porque en sus logros fincamos nuestras esperanzas y deseando de todo corazón que este esfuerzo se refleje en ustedes.

A **mis padrinos** Álvaro y Aída, que aunque físicamente no pueden estar en este momento conmigo, por los caprichos de la vida, forman una parte importante de mí.

A **Rafael Sánchez** por su amistad y apoyo incondicional, por todos esos momentos y largas noches, en los que tus consejos han pasado a formar parte de lo que soy.

Agradezco infinitamente a los **Drs. David Alberto Salas de León y María Adela Monreal Gómez**, por su confianza y amistad, por su vocación, por aceptar retos quasi imposibles, por su dedicación. Por todos los comentarios, ideas y consejos, porque prácticamente sin ellos este trabajo no hubiera podido concretarse.

A la **Dra. María del Carmen González Macias** por sus aportaciones, pero fundamentalmente por su amistad, por todo lo que has aportado a lo largo de estos 20 años de vida profesional.

A los **Drs. Faustino Reyes Villegas y Ernesto Soto**, por sus valiosas aportaciones.

A mis compañeros y amigos del grupo SAIIA del IMP, **Jaqueline Salazar, David González y Tomás H. Luna**, por todas sus aportaciones y ayuda.

A la Unidad de posgrado de la Facultad de Ciencias, especialmente a **Rafael G. Serrano**, por su apoyo, facilidades y fundamentalmente por la amistad que a lo largo de estos años hemos cultivado.

Al **Instituto Mexicano del Petróleo**, por el valioso apoyo otorgado para la realización de estos estudios.

# Índice

Resumen .....	1
Abstract.....	2
Introducción .....	3
Antecedentes .....	7
Objetivo.....	11
Metodología base propuesta .....	12
1.1.    Evaluación del Impacto en Ambientes con influencia de la industria Petrolera (EIASA_IP).....	12
1.1.1.    Recopilación de información.....	15
1.2.    Marco teórico .....	16
1.3.    Evaluación prospectiva .....	18
1.4.    Diseño y Actividades de muestreo .....	19
1.5.    Muestreo .....	23
1.5.1.    Toma de muestras y preservación.....	24
1.5.1.1.    Caracterización hidrológica .....	26
1.5.1.2.    Contaminantes .....	26
1.5.1.3.    Plancton .....	27
1.5.1.4.    Sedimentos .....	28
1.6.    Control de calidad .....	28
1.7.    Análisis de la información .....	29
1.7.1.    Análisis estadístico (Tendencia central y dispersión) .....	29
1.8.    Análisis integral.....	32
1.8.1.    Uso de indicadores e índices.....	32
1.8.2.    Modelación hidrodinámica .....	35
1.8.2.1.    Localización del área de estudio .....	37
1.8.2.2.    Datos de referencia .....	38
1.8.2.3.    Estimación de las batimetrías.....	38
1.8.2.4.    Análisis de los resultados de la modelación .....	38
1.8.2.4.1.    Hidrológica.....	38

1.8.2.4.2.	Meteorológica .....	39
1.8.2.4.3.	Oceanográfica .....	40
1.8.2.5.	Modelación de las corrientes hidrodinámicas.....	41
1.8.2.6.	Descripción del modelo hidrodinámico .....	42
1.8.2.6.1.	Diseño de las mallas numéricas .....	42
1.8.2.6.2.	Diseño de los escenarios de simulación para el río Pánuco .....	43
1.8.2.6.3.	Escenario 1 Pánuco: época de secas .....	43
1.8.2.6.4.	Escenario 2 Pánuco: época de lluvias .....	44
1.8.3.	Generación de nuevos escenarios (por ejemplo, Modelación de la calidad del agua por la presencia de metales pesados (ICA <sub>MP</sub> )).....	46
1.8.3.1.	Integración de indicadores en índices .....	47
1.8.3.2.	Simulación del índice de calidad del agua .....	47
Discusión .....		51
Conclusiones .....		53
Referencias.....		54

## Índices de Tablas

Tabla 1.	Programa de muestreo para la EIASA_IP.....	21
Tabla 2.	Variables, Métodos y Unidades empleados en el proyecto.....	23
Tabla 3.	Procedimiento para el muestreo de agua según la Norma NOM-014-SSA1-1993.....	25
Tabla 4.	Información estadística de metales pesados para la Cuenca Baja del Río Pánuco. ....	31
Tabla 5.	Ecuaciones utilizadas para obtener el indicador de calidad por presencia de metales pesados en función de comportamiento en el río Pánuco durante las campañas de lluvias (noviembre, 1998) y estaje (mayo, 1999).....	34
Tabla 6.	Estaciones climatológicas.....	40



## Índices de Figuras

Figura 1	Fuentes y medios de transportes de contaminantes. Para un contaminante dado, “•” representa la estimación de la importancia relativa de cada fuente (Valette-Silver, 1993. tomado de Bahena, 1999)	4
Figura 2	Modelo conceptual para Evaluación del Impacto Ambiental en Sistemas Acuáticos con influencia de la industria Petrolera (EIASA_IP)	14
Figura 3	Etapa de recopilación de información para la EIIASA_IP	15
Figura 4	Etapa de desarrollo del Marco Teórico para la EIIASA_IP	17
Figura 5	Campaña prospectiva del área de estudio para la EIASA_IP	19
Figura 6	Muestreo por transectos, antes, durante y después del sitio de interés para la EIASA_IP	22
Figura 7	Comportamiento de cada uno de los metales pesados durante las campañas de lluvias (noviembre, 1998) y estaje (mayo, 1999).	35
Figura 8	Localización geográfica de la zona de estudio	37
Figura 9	Río Pánuco	37
Figura 10	Región hidrológica de la zona de estudio	39
Figura 11	Ubicación de las estaciones meteorológicas para el río Pánuco	39
Figura 12	Evolución mensual de la precipitación en Pánuco	40
Figura 13	Grafica de predicción de marea (Mayo de 1999)	41
Figura 14	Gráfica de predicción de marea (Octubre de 1998)	41
Figura 15	Malla numérica del Pánuco	42
Figura 16	Simulación de la hidrodinámica: (a) 3 días, (b) 12 días	43
Figura 17	Simulación de la hidrodinámica: (a) 3 días, (b) 12 días	44
Figura 18	Principales industrias asentadas en las márgenes del Río Pánuco	45
Figura 19	Comportamiento espacio-temporal del Cadmio en la Cuenca Baja del Río Pánuco. Mayo, 1999	46
Figura 20	Simulación ICATOX en secas a nivel superficie: (a) 3 días, (b) 12 días	48
Figura 21	Simulación ICATOX en secas a nivel mezcla: (a) 3 días, (b) 12 días	49
Figura 22	Simulación ICATOX en secas a nivel fondo: (a) 3 días, (b) 12 días	49
Figura 23	Simulación ICATOX en lluvias a nivel superficie: (a) 3 días, (b) 12 días	50

## **Resumen**

En México, como en la mayoría de los países en desarrollo, el problema de la contaminación ambiental es grave, dando como resultado, modificaciones al ambiente asociadas a las actividades antropogénicas, deteriorando así su calidad. Los derrames accidentales de hidrocarburos a cuerpos receptores y en especial a los sistemas estuarinos, por su importancia ecológica y económica, son uno de los problemas que deben ser resueltos con oportunidad, para contener el transporte de los mismos y posteriormente, restaurar los sitios afectados.

Desafortunadamente, la mayoría de los estudios para valorar las afectaciones ambientales responden a necesidades específicas, la información no es almacenada en una forma adecuada, debido a que no se cuenta con procedimientos estandarizados y sistematizados.

Es importante realizar estudios que generen información sistematizada de los sistemas, así como la estructura y funcionamiento de las comunidades biológicas, que permitan identificar aquellos componentes que sean real o potencialmente peligrosos, para el funcionamiento del ecosistema.

Debido a esta problemática, es necesario desarrollar y/o aplicar herramientas que permitan alcanzar niveles específicos de conocimiento de las condiciones naturales y de sus modificaciones por el desarrollo de actividades antropogénicas. Para que a partir de ésta se originen los criterios ambientales para el uso y manejo de los ecosistemas.

En este trabajo se presenta una propuesta metodológica para realizar evaluaciones ambientales en un contexto integral y sistémico, que permita un seguimiento del comportamiento de los contaminantes en el medio, sus fuentes y posibles destinos.

Se puede concluir que es necesario optimizar los recursos con estudios que generen la información suficiente y adecuada para sustentar los planes de manejo en función de los riesgos potenciales y reales de acuerdo a referencias propias de nuestras condiciones ambientales.

Para realizar evaluaciones ambientales con un enfoque integral y sistémico, se requiere formar grupos colegiados que desarrollen, avalen y formen recursos humanos, para poder realizar este tipo de estudios con un enfoque ambiental estratégico.

El contar con este tipo de documentos permitirá reducir los tiempos y optimizar el uso de recursos económicos, además de incrementar el conocimiento de nuestros sistemas a escalas específicas, que conformaría el desarrollo de líneas base ambiental para nuestros ecosistemas.

## **Abstract**

In Mexico, as in most developing countries, the environmental pollution problem is serious, resulting in environment changes associated to anthropogenic activities, deteriorating its quality. Accidental hydrocarbons spills to receiving bodies, especially the estuarine systems, due its ecological and economic importance, they are one of the problems that must be solved with opportunity, to contain the transport of the same and, later, to recover the affected sites.

Unfortunately, most studies to assess the environmental impact are made to fulfill specific needs, so the information is not stored in an appropriate way, because there are not standardized and systemized procedures.

It is important to conduct studies to generate systematic information of the systems and the biological communities' structure and functioning, that help us to identify those components actually or potentially dangerous to the ecosystem functioning.

Due to this problem, it is necessary to develop and / or use tools that allow us to obtain specific levels of knowledge related to natural conditions and its modifications because the development of anthropogenic activities. So from this one, can be originated the environmental criteria for use and ecosystem management.

This paper presents a methodological proposal to conduct environmental assessments in a comprehensive and systemic context, which allows tracking the behavior of pollutants in the environment, their sources and potential destinations.

It can be concluded, that it is necessary to optimize resources, with studies that generate enough and suitable information, to support the management plans based on the potential and real risks, according to own references of our environmental conditions.

To conduct environmental assessments with a comprehensive and systemic approach, it is required to form associated groups that develop, guarantee and train human resources to undertake such studies in a strategic environmental approach.

To have this kind of documents will reduce the time and optimize the use of economic resources, and besides increasing the knowledge of our systems on specific scales that'll shape the development of environmental baselines for our ecosystems.

## **Introducción**

En México, como en la mayoría de los países en desarrollo, el problema de la contaminación de ríos, lagunas y embalses es grave. En sus márgenes se encuentran asentados importantes desarrollos poblacionales e industriales, confiriéndole a éstos características de abastecedores de agua y receptores de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos, a través de los cuales se incorporan cantidades importantes de sustancias contaminantes, tanto químicas como biológicas, que provocan el deterioro de sus condiciones fisicoquímicas y modifican su vocación natural.

Este problema se encuentra fuertemente relacionado con la falta de planeación en manejo de residuos, y lo cuantioso que resulta el control y seguimiento de estos ambientes. Díaz-Barriga (1996) reporta que en México más del 90% de los residuos peligrosos que se producen al año se manejan inadecuadamente. Por consiguiente, el grueso de los residuos se dispone de manera anómala, contaminando ríos, cañadas, desiertos, etcétera.

Actualmente se utilizan alrededor de 100,000 sustancias en las actividades productivas, de las cuales, únicamente 3,000 se producen en volúmenes superiores a las 1,000 toneladas por año, sin embargo, éstas representan el 90% del total que se comercializan. Pero sólo se han realizado estudios sistemáticos de su peligrosidad, para la salud humana y los ecosistemas, para un número limitado de ellas. Por ejemplo alrededor del 8% de las sustancias de alto volumen de producción cuentan con el mínimo conjunto de datos que permitan evaluar su peligrosidad<sup>20</sup>

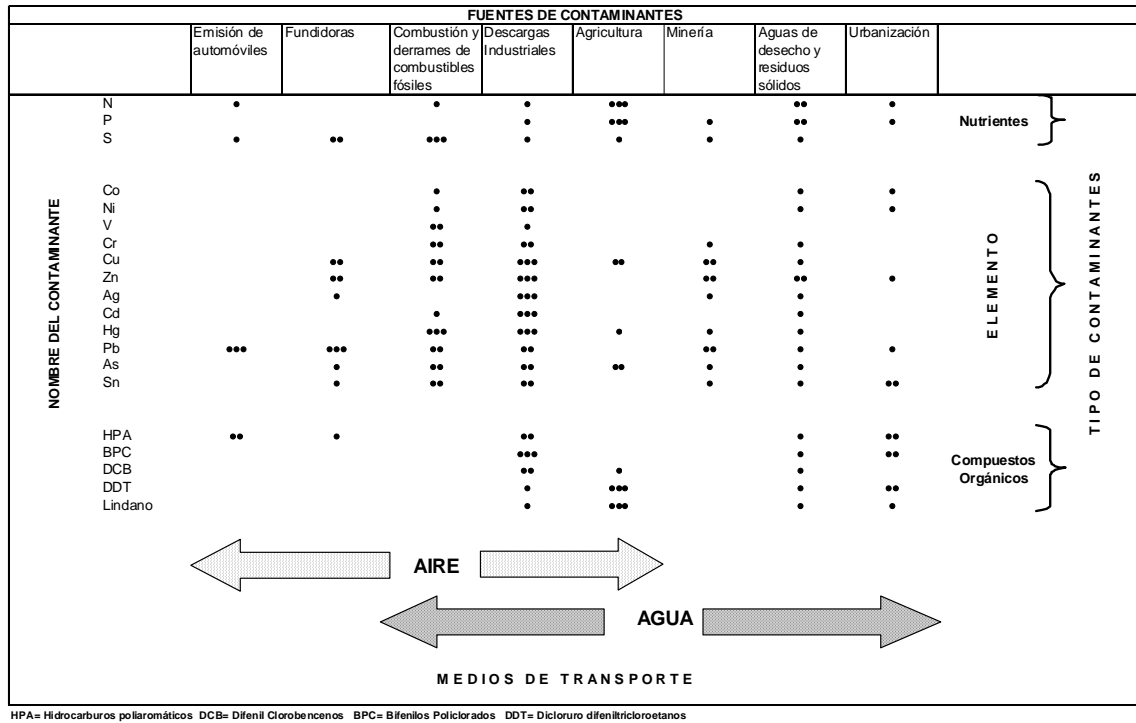
Según las cifras oficiales, la producción de residuos peligrosos en México ha presentado un incremento vertiginoso, sólo en 10 años (1986-1995) se triplicó la producción de 2,737 millones a 7.5 millones de toneladas anuales. Sin embargo, la capacidad instalada para proporcionar un tratamiento adecuado a esta cantidad de residuos, no creció en la misma intensidad, lo que conlleva al problema del mal manejo de residuos, por lo que no resulta extraño que el 90% de los residuos peligrosos en México no reciban un tratamiento adecuado. (Díaz-Barriga, 1996).

Lo anterior, aunado a las limitantes propias de los países en desarrollo, caracterizadas por la falta de laboratorios calificados, escasez de recursos humanos y financiamientos restringidos para realizar estudios sistemáticos de los recursos acuáticos que presentan una fuerte influencia de las actividades antropogénicas, explica el porque este recurso presentan, cada vez más frecuentes, problemas asociados a la pérdida de recursos, como la pesca, y a la salud humana.

**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales  
Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**

La problemática no es sencilla, debido a que en la mayoría de los casos, los procesos perturbadores son resultado de la presencia de múltiples estresantes en el ambiente, regularmente asociados a diferentes fuentes y procesos industriales, en los que se generan desde residuos domésticos hasta contaminantes complejos, por su estabilidad y peligrosidad, asociados a la industria de la refinación y petroquímica.

En la figura 1, se pueden observar las principales fuentes de contaminación y medios de transporte de nutrientes, contaminantes orgánicos e inorgánicos, organoclorados y agroquímicos. Es claro que la falta de planeación y mal uso de los recursos naturales, todas estas sustancias representan un problema potencial de contaminación en la mayoría de los casos, degradando en forma alarmante los recursos naturales.



HPA= Hidrocarburos poliaromáticos DCB= Difencil Clorobencenos BPC= Bifenilos Policlorados DDT= Dicloruro difeniltricloroetanos

**Figura 1 Fuentes y medios de transportes de contaminantes. Para un contaminante dado, “•” representa la estimación de la importancia relativa de cada fuente (Valette-Silver, 1993. tomado de Bahena, 1999)**

La industria petrolera es uno de los pilares que sostienen el progreso y el desarrollo económico de nuestro país. Desafortunadamente en aras de mantener esta situación económicamente favorable y por la magnitud y alto grado de riesgo en sus operaciones, se ha descuidado la mitigación de los efectos nocivos que esta industria causa al ambiente que le rodea. No obstante, en los últimos años ha surgido una importante preocupación por preservar y restaurar las condiciones

ambientales de los sitios en los que ésta se asienta, incluyendo entre ellos a los sistemas acuáticos.

Dentro de este marco, Petróleos Mexicanos ha adquirido el compromiso de alcanzar el nivel de descarga cero en todas sus instalaciones. Esta medida incide en la solución de dos problemas importantes para el manejo adecuado del recurso agua: disminuir al máximo su consumo y eliminar el impacto ambiental en los cuerpos receptores, al retenerla en sus instalaciones, resolviendo el problema tecnológico y ambiental en conjunto. Sin embargo, los derrames accidentales de hidrocarburos a cuerpos receptores y, en especial a los sistemas estuarinos, por su importancia ecológica y económica, son uno de los problemas que deben ser resueltos con oportunidad, debido a que requieren tomar medidas adecuadas para contener el transporte de los mismos y, posteriormente, restaurar los sitios afectados.

Se estima que para el año 2006, Petróleos Mexicanos, contaba con un pasivo ambiental cercano a 1025 hectáreas y con un costo proyectado de alrededor de 2,300 millones de pesos. Estos costos representan la inversión para la atención a los sitios detectados en sus operaciones rutinarias, las presas de almacenamiento de recortes de perforación, los hallazgos de las auditorías ambientales, entre otros, que cuentan con estudios previos de evaluación de contaminantes y la estimación correspondiente de los costos de remediación (Petróleos Mexicanos, 2005). En las estimaciones anteriores no se consideran la atención a sitios contaminados por fugas y derrames recientes, que representan un problema adicional de la empresa con las autoridades ambientales del país.

Aunado a lo anterior, Petróleos Mexicanos, subsidia estudios ambientales, con instituciones de educación superior, para generar información científica del entorno de sus núcleos de mayor concentración de instalaciones o en aquellos en los que sus actividades se intensifican, asimismo en el desarrollo de tecnologías ambientalmente limpias, derivados de éstos se cuenta con información adicional del medio ambiente, lo que lo ubica como una de las principales fuentes generadora de información ambiental en el país.

Desafortunadamente, la mayoría de estos estudios responden a necesidades específicas, y en la mayoría de los casos, la información no es almacenada en una forma adecuada y en poco tiempo pasa a formar parte del archivo muerto. Lo anterior, debido a que no se cuenta con procedimientos estandarizados y sistematizados, en los que se pueda integrar la mayor parte de la información y así contribuir con el acervo nacional.

Es en este sentido, que la intención de este ensayo, es resaltar la importancia de contar con procedimientos que regulen este esfuerzo y permitan estandarizar la información así generada.

**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales  
Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**

Por lo anterior, es claro entender que la problemática ambiental de los sitios aledaños a las instalaciones de Petróleos Mexicanos, requieren elementos técnicos que faciliten la interpretación de las causas que ocasionan el daño ambiental, el grado de perturbación y las posibles soluciones, basados en un diseño metodológico para estudios ambientales. El objetivo de esta tesis es proponer una metodología base usando como ejemplo el caso de estudio el río Pánuco.

## **Antecedentes**

La creciente demanda energética en los países en desarrollo, los acelerados procesos de industrialización, urbanización, uso y aprovechamiento de recursos naturales, han provocado un deterioro gradual del ambiente, debido a que en la mayoría de los casos estos procesos se realizan sin una planificación adecuada y sin contar con medidas de protección al ambiente suficientes que permitan minimizar sus efectos adversos a los ecosistemas.

En los países en desarrollo, como el nuestro, en los que se han llevado a cabo una rápida industrialización, el uso de compuestos químicos y tecnologías extractivas y de refinación y los consecuentes desarrollos urbanos asociados a la industria, han dado como resultado, un fuerte impacto negativo en el ambiente circundante, derivado de la incorporación de grandes volúmenes de emisiones (gaseosas, líquidas y sólidas), que conllevan la disponibilidad de una gran cantidad de sustancias químicas en el ambiente. Representando así, un peligro para la salud humana y para los ecosistemas con los que se encuentran interactuando.

Desafortunadamente, en estos países, el proceso de industrialización ha sido por mucho, más rápido que la implantación de normas ambientales que impidan el deterioro del ambiente, convirtiendo a este último, en receptor de los residuos generados por estas actividades.

La carencia de información técnico-científica para sitios específicos, que permita establecer criterios base que sustenten el uso y manejo de los recursos naturales con un enfoque sustentable, así como la falta de información adecuada y sistematizada sobre las condiciones particulares de los mismos, representa una barrera para la implementación de programas de desarrollo que aseguren que las actividades productivas y sociales no representen un peligro sustancial para los recursos naturales asociados a los mismos.

Otro problema es el hecho de que la información generada, cumple propósitos específicos, y en la mayoría de los casos no es comparable entre sí, por lo que no puede ser utilizada para realizar diagnósticos integrales de sitios específicos, con los que se puedan identificar los efectos negativos reales o potenciales sobre las comunidades coexistentes en el ecosistema, así como, la calidad ambiental en los diferentes compartimientos (sedimento, agua, aire y biota) y aspectos relacionados con su capacidad de amortiguamiento y autodepuración.

Dado que no contamos con información fidedigna y actualizada sobre las fuentes generadoras de contaminantes (sólidos, líquidos y gaseosos), que permitan conocer el estado los ecosistemas acuáticos, es imposible identificar el grado de



afectación, la calidad del recurso hídrico y mas aún, si consideramos la presencia de contaminantes múltiples.

En este sentido es importante realizar estudios que generen información sistematizada sobre la mayoría de los constituyentes químicos, características físicas de los sistemas y estructura y funcionamiento de las comunidades biológicas, elementos que permiten identificar la variabilidad espacio temporal de los sistemas, así como, la variabilidad inducida por procesos antropogénicos. Para que a partir de estos elementos puedan identificarse aquellos componentes que puedan ser considerados real o potencialmente peligrosos para el funcionamiento del ecosistema.

Esta problemática ha despertado el interés de los sectores normativos, productivos y de la sociedad, los que en la medida de sus posibilidades, han fijado su atención en el ambiente con el fin de eliminar o mitigar dichos efectos adversos. Sin embargo, esta no es una tarea fácil, ya que implementar tecnologías limpias amigables con el ambiente representa cuantiosa inversiones, que en la mayoría de los casos la pequeña y mediana industria no pueden pagar, por lo que, para que dichas acciones puedan llevarse a cabo, es necesaria realizar esfuerzos conjuntos, a fin de poder contar con procesos alternos menos agresivos con el ambiente.

Una de las tendencias actuales en el manejo de los recursos naturales, y en particular en el manejo de las cuencas hidrológicas, es el de procurar un desarrollo sustentable entre las diferentes actividades involucradas con el uso de estos recursos, como sería el caso de la pesca, transporte, uso de agua y vertimiento de desechos, de tal forma que se minimice o elimine el deterioro de la calidad ambiental, así como de la biota presente en estos ecosistemas.

Actualmente, el nivel de deterioro de algunos sistemas a obligado a las instancias normativas a enfocarse en valorar cuantitativa y sistemáticamente los sistemas en cuestión, requiriendo la generación de mucho más información que la que históricamente se generaba por la atención a la normativa para aguas residuales. Lo anterior a conducido a desarrollar cada vez con mayor frecuencia diagnósticos integrales que sustenten las bases para comparar y priorizar los riesgos asociados a las actividades antropogénicas. Desafortunadamente, no todo el sector industrial cuenta con recursos para financiar este tipo de estudios, por lo que la responsabilidad cae en grandes empresas, como Petróleos Mexicanos.

Como una medida para realizar estudios que permitan abordar esta problemática, en la última década ha tenido auge la realización de evaluaciones siguiendo el protocolo propuesto por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos de Norte América (USEPA) para la Valoración del Riesgo Ambiental, cuyo principal objetivo es evaluar la probabilidad de ocurrencia de efectos ecológicos adversos, que puedan ocurrir o estar ocurriendo, como resultado de la exposición

a uno o más estresores (USEPA, 1992), mediante la identificación de aquellos contaminantes cuya presencia puede modificar las condiciones del ambiente, al grado de representar un peligro real o potencial para el ecosistema y a partir de la simulación de nuevos escenarios poder identificar las condiciones mínimas que pueden ser soportadas por un ecosistema en relación a la carga de contaminantes.

El concepto de Evaluación de Riesgo Ecológico tiene su origen en los trabajos realizados por la EPA entre 1986 y 1987, en los cuales se aborda el concepto de riesgo relativo, como una manera de poder evaluar los efectos de las alteraciones producidas al ambiente debido a las actividades antropogénicas o a la presencia de algún agente biológico modificador del mismo (EPA, 1986 y 1987).

A principios de la década de los 90's, la EPA, realizó el Risk Assessment Forum para desarrollar un guía para la evaluación del riesgo ecológico. En este foro se tocaron tópicos como; las mejores aproximaciones científicas para la evaluación del riesgo ecológico, la factibilidad científica para la implementación de la guía para la evaluación del riesgo ecológico para un amplio rango de categorías de estresores y ecosistemas, el papel científico relativo a los procesos de evaluación del riesgo y la materia y título que podrían contribuir a la de guía de evaluación del riesgo ecológico (USEPA, 1992).

Derivados de estos foros, se han llevado a cabo diversos intentos por contar con un protocolo de evaluación del riesgo ambiental, para desarrollar estudios sistematizados que generen información científica y tecnológica cuantificable y comparable. Como resultado de estas actividades la EPA publicó en 1996 un protocolo para realizar estudios de riesgo ecológico (EPA, 1996).

En un principio, los estudios se enfocaban fundamentalmente en poder determinar el riesgo potencial para la salud humana, considerando principalmente los efectos por exposición a un contaminante, o bien en determinar el grado de toxicidad y a través de éstos poder determinar la potencialidad de un estresor para causar un problema de salud. Sin embargo este tipo de estudios, carecían de un enfoque holístico que contemplara la respuesta del ecosistema al sufrir alteraciones por la presencia de agentes modificadores físicos, químicos y/o biológicos. Por lo que no se identificaban las modificaciones sufridas en los ecosistemas (Suter, 1997).

La evaluación del estado del ecosistema, siguiendo la metodología del riesgo ambiental permite identificar los impactos a partir de los componentes físicos, químicos y biológicos, los impactos ambientales múltiples y evaluar la importancia de los factores específicos. A partir de esta información se puede evaluar la probabilidad y magnitud de los efectos ecológicos adversos, que podrían resultar de la exposición de uno o más compuestos tóxicos o de otros estresores ambientales, como podría ser un hábitat empobrecido.

El resultado del análisis de riesgo ecológico puede ser de gran valor para identificar el riesgo total de estresores múltiples y los consiguientes beneficios ecológicos al utilizarlos para definir las medidas específicas de mitigación de los estresores identificados. Por lo que es importante considerar este tipo de estudios integrales para la definición de uso y mantenimiento de la integridad biológica de los recursos acuáticos.

Tal es el caso de la cuenca baja del río Pánuco, sistema utilizado como abastecedor de agua para cumplir con las demandas urbanas e industriales y como receptor de aguas residuales de estos sectores, sin un control estricto en su tratamiento. Los estudios realizados a la fecha en esta cuenca representan esfuerzos aislados y específicos, por lo que su utilidad ha sido confinada a ser un acervo educativo y como consulta general para la realización de requerimientos normativos ambientales. Sin embargo, no ha sido posible, conocer la potencialidad real de los efectos nocivos por el desarrollo de los diferentes sectores asociados a esta cuenca.

Por lo que es importante conocer el riesgo real o potencial de este sistema, que permita realizar diagnósticos a partir de la información retrospectiva y por otro lado, generar, a partir de proyecciones, nuevos escenarios que sustenten las decisiones actuales asegurando su mantenimiento futura, como un medida para mitigar los efectos de la contaminación.

En este sentido, es necesario desarrollar métodos para identificar los efectos ecológicos adversos cuando estos se presentan, valorando el efecto por la presencia de estresores potenciales y priorizarlos, a fin de que el administrador ambiental pueda intervenir en una forma mas eficiente (Preston, 2002).

Por lo anterior, las instancias normativas, los tomadores de decisiones y la misma sociedad se encuentran ante un dilema al plantearse como abordar el problema de la seguridad química, este problema se vuelve mas complejo si se consideran las múltiples modalidades de liberación de las sustancias peligrosas al ambiente y las posibles formas de exposición humana y de la biota a ellas, fundamentalmente cuando sus efectos no se manifiestan de inmediato. Es en este sentido que deben aplicarse las metodologías para evaluar y manejar los riesgos de las sustancias peligrosas, así como el enfoque preventivo, adquieren particular relevancia<sup>20</sup>

Debido a esta problemática, es necesario desarrollar y/o aplicar este tipo de herramientas, que permiten alcanzar niveles específicos de conocimiento de las condiciones naturales y de sus modificaciones por el desarrollo de actividades antropogénicas asociadas a estos sistemas. Para que a partir de ésta se originen los criterios ambientales para el uso y manejo de los ecosistemas.

## **Objetivo**

Contar con una metodología base de estudios ambientales ante posibles impactos derivados de actividades industriales, que permita optimizar los estudios en función de tiempo y recursos posibles de invertir.

## **Metodología base propuesta**

En este apartado se presenta la metodología propuesta para la realización de evaluaciones ambientales en un contexto integral y sistémico. Considerando como caso de estudio para la descripción de cada una de las etapas, el estudio realizado en la cuenca baja del río Pánuco. Cabe mencionar que aunque este estudio no consideró la evaluación de la matriz Aire, en esta propuesta se incluye como uno de los medios importantes para realizar un seguimiento del comportamiento integral de los contaminantes, sus fuentes y posibles destinos.

### **1.1. Evaluación del Impacto en Ambientes con influencia de la industria Petrolera (EIASA\_IP)**

La evaluación del impacto ambiental tiene como propósito el poder identificar el estado actual de los ecosistemas, así como los cambios en su estructura y funcionamiento por la presencia de uno o más estresores originados por actividades antropogénicas. Desafortunadamente estas actividades se desarrollan cumpliendo fines específicos, sin considerar a los ecosistemas en una forma holística.

Trata de identificar maneras de cómo mejorar ambientalmente los proyectos y minimizar, atenuar, o compensar los impactos adversos, bajo consideración ambientalmente adecuadas y sustentables, y que toda consecuencia ambiental sea identificada en el desarrollo del proyecto y tomada en cuenta para el diseño del mismo. Alertan sobre la existencia de problemas, por lo que las evaluaciones ambientales:

- Posibilitan tratar los problemas ambientales de manera oportuna y práctica;
- Reducen la necesidad de imponer limitaciones al proyecto, porque se puede tomar los pasos apropiados con anticipación o incorporarlos dentro del diseño del proyecto; y,
- Ayudan a evitar costos y demoras en la implementación producidos por problemas ambientales no anticipados<sup>20</sup>.

Sin embargo, la evaluación de impacto y riesgo ambiental, desde el punto de vista normativo, no integran adecuadamente los factores ambientales, debido a que se describe el medio físico y biológico con información reportada a grandes escalas y ésta pocas veces permite inferir aspectos específicos del sitio de interés (Marull y Mallarach. 2002).

El propósito de este trabajo es proponer un procedimiento estandarizado para la evaluación de ecosistemas con un enfoque integral y sistematizado, que permita identificar, en la misma escala, la variabilidad ambiental, la presencia de

estresores real o potencialmente peligrosos que representen un riesgo para el ecosistema y la salud humana.

Con este procedimiento se pretende poder dimensionar el grado de afectación de los ecosistemas debido a la presencia de agentes modificadores, como sería el caso de la presencia de actividades antrópicas (asentamientos humanos, industria, etc.) y su contribución a los cambios presentes en el ambiente.

Adicionalmente es importante conocer con mayor certeza la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, así como su comportamiento espacio temporal y dimensionar el grado de afectación, o sea los cambios en las condiciones naturales de los ecosistemas debido a la presencia de agentes modificadores.

Otro aspecto importante, es la necesidad de contar con un sistema de administración de información que permita centralizar, estandarizar y validar la información ambiental, y así constituir un base de conocimiento robusta, con información científica que sustente el conocimiento de los valores de fondo ambientales para ecosistemas específicos.

De esta manera se podrían capitalizar las grandes inversiones en estudios ambientales, financiadas por los centros de educación superior, y grandes empresas como Petróleos Mexicanos, la iniciativa privada, entre otros, transformando el dato en conocimiento y asegurando su utilidad y vigencia a mediano y largo plazo.

En la figura 2 se muestra el modelo conceptual para desarrollar la Evaluación del Impacto Ambiental en Sistemas Acuáticos con influencia de la Industria Petrolera (EIASA\_IP), en el que el enfoque principal es el poder realizar una evaluación integral que permita general información sistematizada, de tal forma que, los resultados obtenidos permita identificar los impactos en un esquema espacio temporal, considerando los elementos naturales y productivos que interactúan con el desarrollo del nuevo proyecto, o bien, con el diagnóstico ambiental derivado de un evento ya ocurrido.

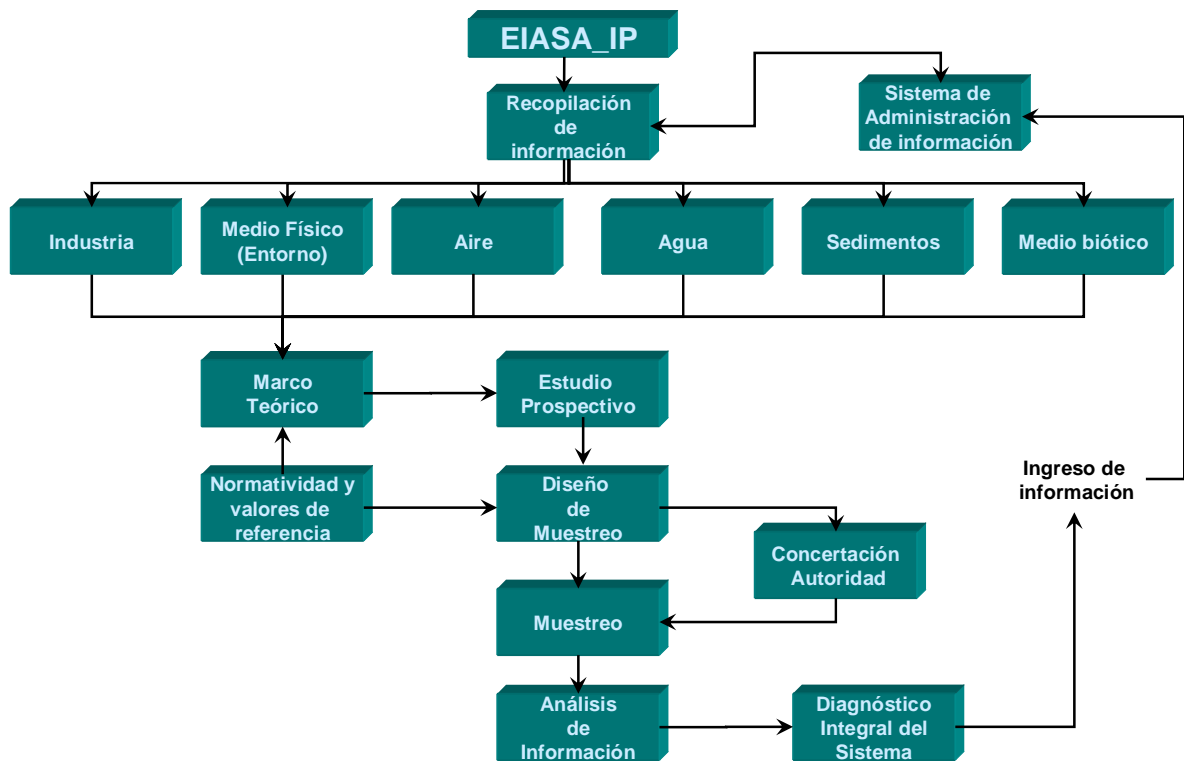


Figura 1 Modelo conceptual para Evaluación del Impacto Ambiental en Sistemas Acuáticos con influencia de la industria Petrolera (EIASA\_IP)

El primer paso, es identificar el problema ambiental, real o potencial, de interés. En este sentido es necesario contar con información que permita definir con claridad el objetivo y los alcances del estudio, ya que como se mencionó anteriormente, el tratar de analizar todos los posibles contaminantes de un sistema acuático es demasiado difícil y costoso. Un mal planteamiento del problema puede llevarnos a proponer un proyecto poco factible en tiempo y dinero. Esto daría como resultado, considerar un conjunto de variables no relacionadas con el problema principal, que representaría pérdida de tiempo y recursos en evaluar sustancias equivocadas o de bajo riesgo, y perder la atención de aquellas fuertemente relacionadas con el problema en cuestión y que potencialmente representan un riesgo mayor para el ecosistema y la población.

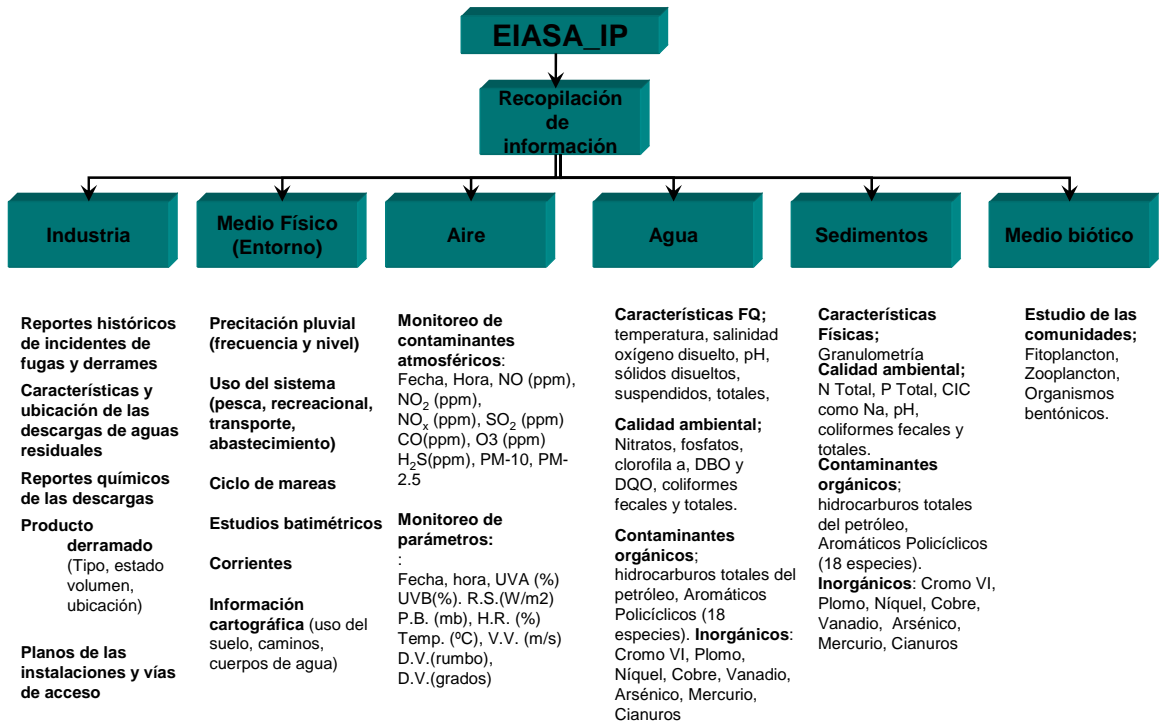
El contar con un mal planteamiento puede, además del problema ambiental en cuestión, derivar en problemas económicos y sociales. Por lo que es fundamental en esta etapa del estudio el considerar que los factores tiempo y dinero no son infinitos, y que la oportunidad de poder realizar actividades de mitigación de los riesgos potenciales pueden perderse por considerarse demasiado tiempo para el desarrollo del estudio.

**1.1.1. Recopilación de información**

El siguiente paso, es contar con la información suficiente y adecuada, no sólo de las condiciones directamente asociadas al problema en cuestión, sino también, de todas aquellas relacionadas directa o indirectamente con el problema y que faciliten el análisis de los resultados obtenidos, y a mediano plazo ser el sustento de la definición de líneas base para los diferentes sistemas de interés, asimismo la identificación de otras fuentes que puedan interferir en el cumplimiento de los alcances planteados.

En este sentido, es importante considerar la información relacionada con el sector productivo, el medio físico, la información disponible del agua, sedimento y biota del sistema acuático en cuestión.

En la figura 3, se esquematiza el tipo de información para cada uno de los sectores considerados en el modelo conceptual. Es necesario aclarar, que esta información no es limitativa, pero constituye lo mínimo necesario para realizar una descripción completa del sistema, las fuentes de residuos asociados al mismo, el uso del suelo, otras actividades industriales presentes en la zona, etc. Con lo que se podrán describir las condiciones preexistentes del área de estudio sin considerar el problema real o potencial en cuestión.



**Figura 2 Etapa de recopilación de información para la EIASA\_IP**



Un aspecto importante de esta etapa, es que se pueden identificar los vacíos de información y ser considerados en el diseño de las actividades de campo, lo que conlleva a dos beneficios inmediatos, primero el poder contar con la información completa para identificar los posibles impactos y el segundo, no menos importante, el generar información de línea base, que permita enriquecer, cualitativa y cuantitativamente, el conocimiento integral del sistema.

Por otro lado, es importante en esta etapa, considerar si existen modelos hidrodinámicos para el sitio o la posibilidad de poder generarse dentro del proyecto, asimismo el uso de modelos que permitan identificar el riesgo ecológico y a la salud para los posibles contaminantes problema.

Esto nos permitirá contar desde un principio, con herramientas integradoras que faciliten el análisis de la información, la discusión de resultados e identificar las posibles medidas de mitigación.

Por último, se requiere contar con toda la información normativa disponible, principalmente la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Normas Oficiales Mexicanas y la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización rev. 2008. Así como, la información de referencia para aquellos contaminantes y criterios no normados, tanto nacionales como internacionales. Como es el caso de los contaminantes presentes en los sedimentos, o aspectos descriptivos de la biota y toxicidad en organismos por la presencia de algún contaminante.

## **1.2. Marco teórico**

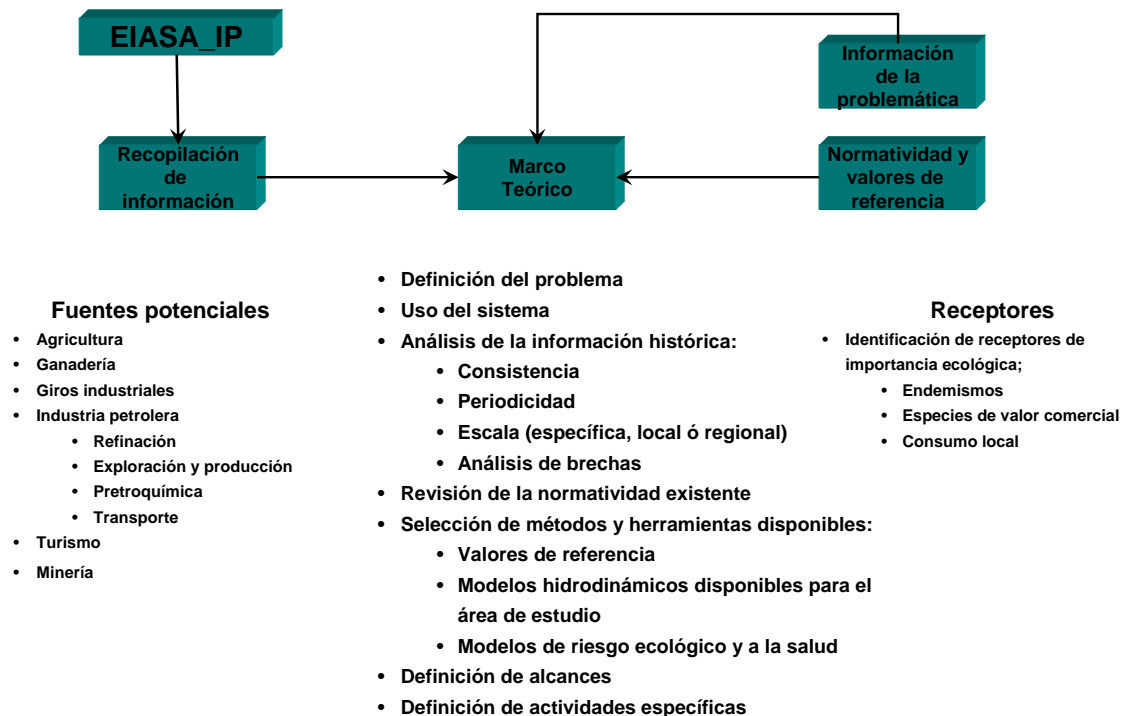
Esta etapa representa la integración de la información recopilada en una forma lógicamente ordenada, con la finalidad de poder establecer “el como y el que” de las actividades requeridas para abordar el problema en cuestión. Así la primera actividad es definir con claridad el problema y lo que se desea evaluar, los alcances de la investigación y los productos que obtendríamos derivados de la misma.

Así en el planteamiento del problema se integrará la información que nos proporcione un conocimiento mas detallado de la situación prevaleciente del sistema de interés, en la que además de contar con una descripción del problema, se podrán identificar otras fuentes de contaminantes y su interacción con el sistema, esto es, si tienen una influencia directa o indirecta, como sería el caso de escorrentías o transporte aéreo de emisiones y su posterior depositación, asimismo el estado de la información, si esta es consistente, su periodicidad, a que escala se encuentra y la identificación de vacíos de información. Este último punto es importante, porque el estudio podría considerarla para el planteamiento actividades que cubrieran parcial o totalmente esta carencia de información.

Por otro lado, también es importante considerar la normatividad existente que deberá ser cumplida en el estudio y los requerimientos de acreditación del personal y laboratorios participantes. Para el caso de aquellos contaminantes no normados, también es necesario identificar en la literatura especializada los criterios de referencias contra los cuales será comparada la información generada en el estudio, sus fuentes y que tan factible es hacer inferencias a partir de ellas, dado que en la mayoría de los casos es información descriptiva de otros ambientes y condiciones.

Por último, durante esta etapa, hay identificar y describir, las herramientas estadísticas y metodologías que serán utilizadas para la etapa de análisis de información, bajo que protocolos se realizará y que herramientas de modelación serán incluidas en el análisis. Estas pueden ir desde la descripción estadística de los resultados hasta el uso de modelos de transporte de contaminantes y otros desarrollos que permiten evaluar el riesgo ecológico y a la salud.

En la figura 4, se muestra esquemáticamente el tipo de información que será integrada en el marco teórico y la definición de objetivos y alcances considerados como resultado del estudio.



**Figura 3 Etapa de desarrollo del Marco Teórico para la EIASA\_IP**

### **1.3. Evaluación prospectiva**

En esta etapa de la propuesta metodológica, se plantea la necesidad de realizar una visita prospectiva, que permita llevar a cabo una valoración inicial del área de estudio, en la que se puedan ubicar físicamente las estaciones de muestreo definidas en el la etapa de diseño, y se pueda recabar información del sitio.

Lo que permitirá identificar las condiciones físicas y químicas de la columna de agua, la logística del muestreo, así como la confirmación o la concertación de posibles cambios en la propuesta original de actividades de muestreo ante la autoridad ambiental encargada del cumplimiento y vigilancia de lo dispuesto en las leyes ambientales, PROFEPA. Frecuentemente, en este tipo de concertaciones, la autoridad manifiesta la necesidad de reubicar o adicionar algunos puntos de muestreo, que consideren áreas de conflicto, en los que se han reportado demandas o quejas por parte de la sociedad. Por lo que es recomendable, de ser posible, la participación de los supervisores de la PROFEPA en esta actividad.

Adicionalmente, es importante identificar áreas de potenciales parches ecológicos, en los que, la dinámica del sistema se modifique por las características fisiográficas del sitio, por ejemplo, en cuerpos acuáticos, la presencia de meandros, remansos en los que se puede llevar a cabo el almacenamiento temporal de las partículas transportadas por las corrientes, procesos de sedimentación y resuspensión de partículas diferentes a los presentes en el canal principal, etc, otro ejemplo para la evaluación de suelos contaminados, sería la cercanía a pendientes pronunciadas, en las que las condiciones del suelo cambian considerablemente, el manto freático o el uso actual del suelo en el área de interés.

La importancia de estas actividades radica en que la información generada durante la etapa de muestreo permitirá contar con elementos sólidos para realizar un diagnóstico ambiental más completo, sustentado técnicamente.

Para asegurar que la etapa de muestreo será representativa, es conveniente considerar las características propias del medio, como sería el caso de las características hidrológicas y morfométricas para el caso de cuerpos de agua superficial. Éstas sustentan la planeación de las actividades de muestreo, la ubicación de las estaciones, si existe presencia de estratos en la columna de agua, las profundidades de la toma de muestras que deberán ser consideradas en cada uno de los puntos de muestreo, así como el número de muestreos que deberán realizarse para considerar el factor temporalidad en el estudio. Las mediciones del oxígeno disuelto, salinidad, pH, conductividad y turbiedad, pueden indicar si existen estratos en la columna de agua. Estas determinaciones pueden realizarse in situ, con equipos multianalizadores, como el Hidrolab u otros similares.

También es importante mencionar que durante estas actividades sólo se recaba información de mediciones de campo in situ, por lo que el costo del proyecto no se afecta considerablemente.

En la Figura 5, se muestra como ejemplo, la propuesta conceptual para las actividades de prospección en un río. Aunque en ésta, no se refleja la ubicación de sitios de interés, como el destino final del transporte de contaminantes, es un aspecto que no puede dejar de ser considerado en esta etapa del estudio, dado que es recomendable identificar sitios de alta sensibilidad ecológica (meandros, esteros, entre otros), en los que serían mas evidentes los efectos adversos derivados de las actividades antropogénicas.

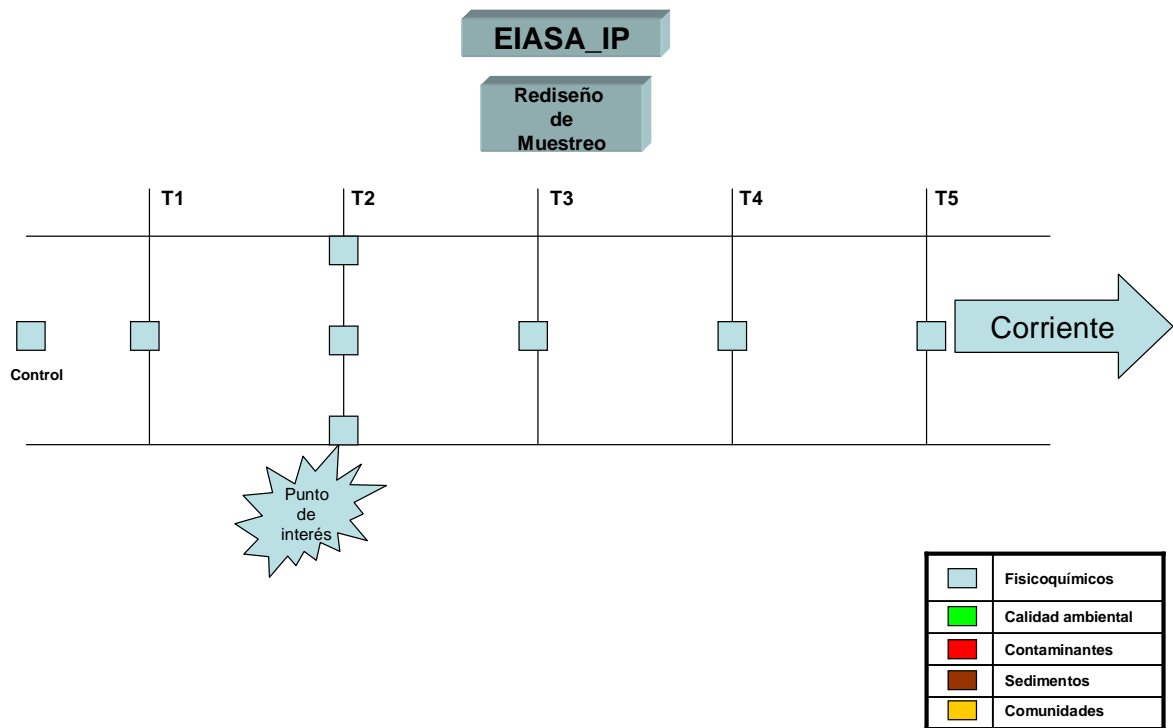


Figura 4 Campaña prospectiva del área de estudio para la EIASA\_IP

#### 1.4. Diseño y Actividades de muestreo

Para identificar los diferentes procesos a los que esta sujeto el ecosistema y poder caracterizar los diferentes ambientes desde el punto de vista fisicoquímico, biológico así como de la presencia de contaminantes y niveles de toxicidad, que permitan determinar el riesgo real o potencial al que se encuentran asociadas las comunidades presentes en este sistema, es conveniente considerar las siguientes actividades:

- Delimitación teórica del área de influencia del problema a analizar
- Ubicación de transectos, con un mínimo de tres estaciones de muestreos.
- Establecer criterios de muestreos verticales, si el sistema esta estratificado por efecto de la intromisión de aguas marinas (efecto de cuña de mar) o por tener una profundidad considerable) deberá proponerse por lo menos tres muestras (superficie, media agua y fondo) en cada estación de muestreo.
- Selección de, por lo menos, un punto de muestreo control.
- Definición del número de campañas, en función de la necesidad de evaluar el efecto temporal del sistema.
- Limitaciones económicas y de recursos humanos

En este sentido es importante considerar la periodicidad de los muestreos, así como la intensidad de los mismos. Este es un factor importante dado que por restricciones presupuestales, se puede caer en el absurdo de querer describir el sistema con el mínimo de muestras.

Por otro lado, no debe dejarse por un lado, la consideración de sitios ambientalmente importantes, como los descritos en el apartado de la evaluación prospectiva, ya que son de importancia para conocer y asegurar la descripción ambiental que considere la diversidad de condiciones presentes en el área de interés.

También es importante considerar en este diseño de muestreo, la toma de replicas en algunos puntos, es recomendable el 10%, para fines de validación de resultados y muestras analíticas ciegas. Lo anterior como control y aseguramiento de calidad. Actualmente este tipo de estudios requiere que se considere la participación de laboratorios certificados para las determinaciones analíticas.

Asimismo, se muestra una propuesta de cómo se debe considerar la ubicación de las estaciones de muestreo, así como la planeación de las muestras consideradas en cada una de ellas. Es importante mencionar que la ubicación del o los puntos de control debe ser cuidadosamente definida, considerando que en este sitio no exista la posibilidad de presentarse el efecto del problema en cuestión. Esto no quiere decir, que sea el mejor conservado, sino más bien, que este refleje las condiciones naturales preexistentes del área de estudio. El elemento considerado para este fin, es fundamentalmente el patrón predominante de circulación para el momento del muestreo. Por ejemplo, en una evaluación reciente en la Bahía de Manzanillo (IMP, 2006), el punto control se ubico cerca de un emisor de descargas de aguas municipales y relativamente cerca del punto problema. Lo anterior fue debido a que este sitio estaba en contra de la circulación dominante y

**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales  
Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**

representaba las condiciones de calidad del agua antes de presentarse la influencia de la fuga que se estaba evaluando (IMP, 2006).

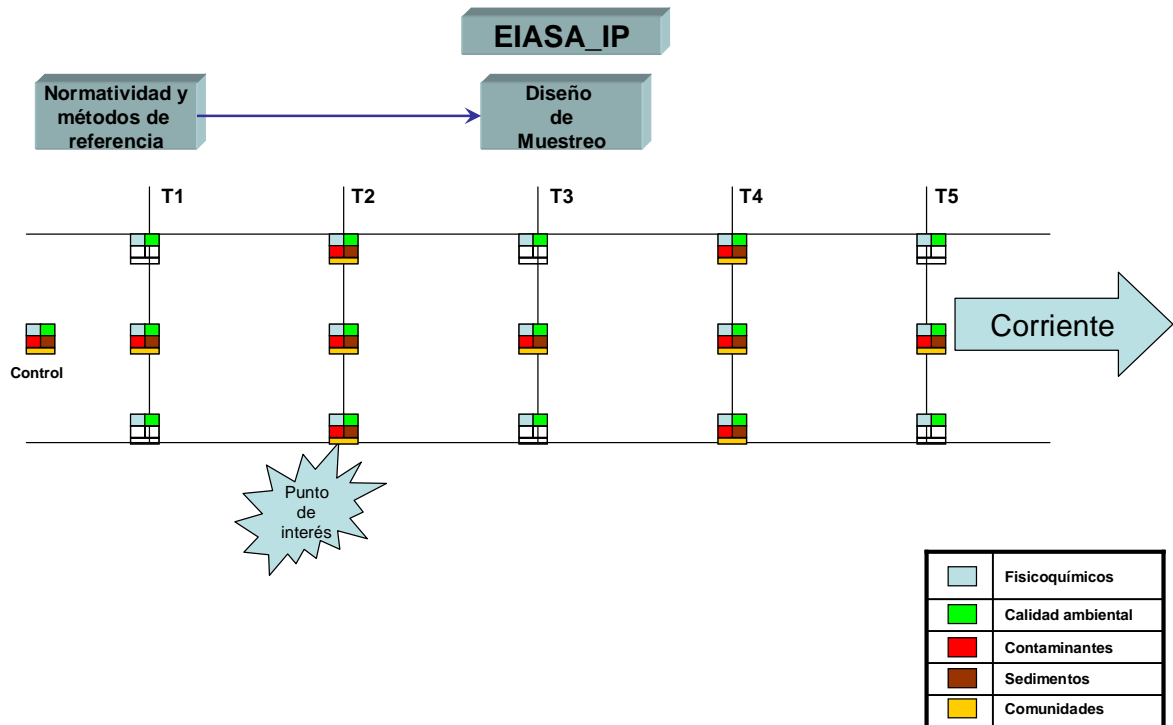
En la figura 6 y Tabla 1, se muestra una alternativa para poder minimizar los costos analíticos, sin que esto represente una disminución drástica de los elementos de diagnóstico. En este sentido, se propone realizar los muestreos dirigidos, intensificando la toma de muestra en las cercanías del punto problema y en el sitio control, y alternando en los siguientes transectos. Como puede observarse, esto sólo es considerado para las determinaciones de contaminantes, cuyo costo analítico es considerablemente alto, sin embargo, para los otros parámetros, que no representan ese problema, se propone que éstos se midan de una manera intensiva en todos los transectos.

The diagram shows a box labeled 'EIASA\_IP' at the top. Below it, a box labeled 'Diseño de Muestreo' has an arrow pointing to it from a box labeled 'Normatividad y métodos de referencia'.

	POSICIÓN GEOGRÁFICA		EST.	PROFUNDIDAD	AGUA			SEDIMENTOS		BIOTA	
	LATITUD	LONGITUD			Fisicoquímica	Calidad ambiental	Contaminantes orgánicos e inorgánicos	Fisicoquímica	Calidad ambiental		Contaminantes orgánicos e inorgánicos
TRANSECTO 1			MARGEN IZQUIERDO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
			CENTRO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
			MARGEN DERECHO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
TRANSECTO 2			MARGEN IZQUIERDO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
			CENTRO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
			MARGEN DERECHO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
TRANSECTO 3			MARGEN IZQUIERDO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
			CENTRO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
			MARGEN DERECHO	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							
CONTROL			PUNTUAL	SUPERFICIE							
				MEDIA							
				FONDO							

**Tabla 1. Programa de muestreo para la EIASA\_IP**

**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales**  
**Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**



**Figura 5 Muestreo por transectos, antes, durante y después del sitio de interés para la EIASA\_IP**

En el Tabla 2 se muestran los parámetros, metodologías y unidades propuestos para el desarrollo de estudios de evaluación del impacto ambiental en sistemas acuáticos asociados a la industria petrolera.

**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales  
Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**

PARAMETRO	METODO	UNIDADES
Temperatura	NOM-AA-007-1980 APHA 212, 1985	Grados centígrados (°C)
PH	NOM-AA-008-1980 APHA 402.2, 1985	Unidades de pH
Salinidad	APHA-1002-B.2, 1985	o/oo
Conductividad	APHA-1002-B.2, 1985	microsiems
Oxígeno Disuelto	NOM-AA-012-1980 APHA 420-F, 1985	ppm
Turbiedad	APHA-214-A, 1985	UFT
Sólidos	NOM-AA-34-1981	ppm
Fosfatos	APHA-424-F, 1098	ppb
Nitratos	APHA-1002-H.5, 1985	ppb
Clorofila a	APHA-1002-G, 1985	mg/m <sup>3</sup>
DQO	NOM-AA-30, 1981	ppm
DBO	NOM-AA-28, 1981	ppm
Fenoles	NOM-AA-50, 1981	ppm
Toxicidad	Microtox, 1992 NMX-AA-112-195-SCFI-1985	UT
SAAM	NOM-AA-39, 1980	ppm
Coliformes Fecales y Totales	NOM-AA-42, 1987	N/100 ml
Metales pesados	Absorción atómica IMP-QA-021 en IMP, 1994a	ppb agua ppm sedimento
Hidrocarburos Aromáticos	UV-Fluorescencia IMP-RP-QA-610 en IMP, 1994b	ppb agua ppm sedimento
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	UV-HPLC EPA 8310	
Material Orgánico Extraíble	Infrarrojo IMP-QA-604 en IMP, 1994c	ppb agua ppm sedimento
Granulometría	Folk, R. 1969 Modificada por Pérez, 1990.	%(arena, limo, arcilla y materia orgánica)

\* Los Métodos APHA, pueden ser consultados en: APHA, 1985.

**Tabla 2. Variables, Métodos y Unidades empleados en el proyecto.**

### 1.5. Muestreo

La etapa de muestreo debe de iniciar con una reunión técnica en la que participen las autoridades ambientales, personal de la empresa responsable del estudio y el equipo de muestreo, con la finalidad de dar a conocer las actividades detalladas de colecta de muestras, el tiempo durante el cual se llevará a cabo, el plan de calidad del muestreo, las acreditaciones del personal técnico y laboratorios participantes y las calibraciones del equipo que será utilizado durante las mismas.

Durante esta reunión es necesario dar a conocer, la nomenclatura que será utilizada para cada una de las estaciones y muestras tomadas, las cadenas de custodia, y como será registrada la ubicación de cada uno de los muestreos, esto último normalmente con la ayuda de un geoposicionador (GPS). Como se llevará a cabo el registro fotográfico, si se requerirá alguna filmación y como este material documental será incluido en el reporte final.

El propósito de realizar una colecta de muestras adecuada, es que esta asegure la representatividad del área de estudio, asegure la calidad en el muestreo, preservación, transporte, almacenamiento y procedimiento analítico, de tal forma que los resultados obtenidos a partir de éstas sean lo más fidedigno posible.



Por lo que es necesario, documentar los procedimientos, las actividades y el manejo de material, equipo y muestras, seguidos durante esta etapa del proyecto. Adicionalmente, se debe contar con las acreditaciones tanto del personal de muestreo como del propio laboratorio que realizará las determinaciones analíticas.

Es necesario llevar una bitácora de campo, en la que se documenten las calibraciones de los equipos de campo, la preparación de material para la colecta, las actividades de muestreo y los hallazgos detectados durante la etapa de muestreo.

También es conveniente, el realizar las actividades de campo con la supervisión de personal técnico de la PROFEPA, quienes validarán las actividades desarrolladas, la participación técnica, así como la correcta identificación de los sitios de muestreos, muestras y almacenaje y transporte de éstas últimas.

#### **1.5.1. Toma de muestras y preservación**

Durante la colecta de muestras, es conveniente contar con los procedimientos impresos para pronta referencia, en los que se debe incluir por lo menos, el equipo y material de muestreo a utilizar, la cantidad de muestra, el llenado de la etiqueta de la muestra, el tipo de recipiente y como se preserva.

En el Tabla 3 se muestra como ejemplo el procedimiento para el muestreo de agua según la norma mexicana NOM-014-SSA1-1993, en que se detallan el analito a determinar en la muestra, el tipo de recipiente, el volumen, método de preservación y el tiempo máximo de almacenamiento.

**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales  
Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**

NORMA OFICIAL MEXICANA. **NOM-014-SSA1-1993**

"PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PUBLICOS Y PRIVADOS"

DETERMINACION	MATERIAL DE ENVASE	VOLUMEN MINIMO (ml)	PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO ALMACENAMIENTO
Alcalinidad total	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Arsénico	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Bario	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Boro	p	100	No requiere	180 d
Cianuros	p,v	1000	Adicionar NaOH a pH>12; refrigerar de 4 a 10° C en la oscuridad.	14 d
Cloro residual	p,v	---	Analizar inmediatamente	---
Cloruros	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Color	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Conductividad	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Dióxido de carbono	p,v	100	Analizar inmediatamente	---
Dureza total	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Fenoles	p,v	300	Adicionar h2so4 a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Fluoruros	p,v	300	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Fosfatos	v	100	Enjuagar el envase con ácido nítrico 1:1. Refrigerar de 4 a 10° C	48 h
Magnesio	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Metales en general	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Nitratos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitritos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitrógeno amoniacal	p,v	500	Adicionar H2SO4 a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Nitrógeno orgánico	p,v	500	Adicionar H2SO4 a pH<2 refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Olor	---	---	Detectar inmediatamente	---
Oxígeno	p,v	300	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
pH	p,v	---	Analizar inmediatamente	---
Plaguicidas	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 d{ías.	7 d
Sabor	---	---	Detectar inmediatamente	---
Sodio	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sólidos	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sulfatos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sustancias activas al azul metileno	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Temperatura	p,v	---	Determinar inmediatamente	---
Trihalometanos	s	25	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	---
Turbiedad	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h

p = plástico

pH = potencial de hidrogeno

s = vidrio enjuagado con solventes orgánicos; interior de la tapa del envase recubierta con trllón

v = vidrio

**Tabla 3. Procedimiento para el muestreo de agua según la Norma NOM-014-SSA1-1993.**

### **1.5.1.1. Caracterización hidrológica**

Para determinar las características hidrológicas prevalecientes en los diferentes sitios durante el muestreo, se toman registros in situ, con un multianalizador, de temperatura, pH, Salinidad, Oxígeno disuelto, Turbiedad, adicionalmente, con una botella Van Dorn de capacidad de 3 litros, se toman muestras de agua para la determinación de clorofila "a", fosfatos, nitratos y sólidos suspendidos, disueltos y totales.

Se utilizan recipientes de 1000 ml de capacidad para la determinación de análisis varios (salinidad, sólidos suspendidos, disueltos y totales); el agua para la determinación de los nutrientes (fosfatos y nitratos) es pasada a través de filtros Millipore de 0.47  $\mu\text{m}$  y depositada en frascos ámbar de 250 ml. Para las estimaciones de clorofila a se filtran entre 60 y 350 ml de agua también en filtros Millipore de 0.47  $\mu\text{m}$  y los filtros son depositados en recipientes herméticos totalmente cubiertos.

### **1.5.1.2. Contaminantes**

Las muestras para determinar la presencia de contaminantes son colectadas a diferentes niveles, superficie, zona de mezcla y fondo, como se describió anteriormente.

La colecta para evaluar la presencia de hidrocarburos aromáticos y material orgánico extraíble es realizada con un muestreador de hidrocarburos de acero inoxidable diseño IMP, el cual lleva acoplado un frasco de vidrio de 3800 ml de boca estrecha color ámbar, previamente tratado con ácidos y solventes orgánicos, con el fin de evitar interferencias en las determinaciones.

Después de coleccionar el agua, se realizan extracciones con solventes orgánicos, para lo cual se toman submuestras de 1.5 litros para cada una de las determinaciones; para el caso de hidrocarburos aromáticos se utiliza benceno como solvente y tetracloruro de carbono para el material orgánico. Para la extracción se agregan 25 ml del solvente y se agita vigorosamente durante 5 minutos, posteriormente mediante un embudo de separación, se obtiene el extracto, el cual es filtrado a través de fibra de vidrio, esta operación se repite 3 veces. El extracto se almacena en un frasco color ámbar de 125 ml. tratado de la misma manera que el frasco acoplado al muestreador, éstos se mantienen a temperatura ambiente y en la oscuridad hasta su evaluación (García-Figueroa, 1983).

Para la determinación de metales pesados (Ni, V, Hg y Cr), las muestras se preservan con 2 ml de ácido clorhídrico concentrado. Para la determinación de vanadio se emplearon botellas de plástico con capacidad de 250 ml y para mercurio botellas de vidrio con capacidad de 300 ml, previamente tratadas con ácidos.

Para la toma de muestras del resto de los contaminantes se utiliza una botella Van Dorn de 3 litros de capacidad, la toma se realiza a tres niveles como fue anteriormente descrito. Las muestras son almacenadas en recipientes específicos para cada una de ellas, todos debidamente tratados. Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, de metales pesados y detergentes, se utilizarán frascos de boca ancha de plástico de un litro de capacidad. Mientras que las muestras para la demanda química de oxígeno y grasas y aceites son almacenadas en frascos de vidrio de boca ancha con contratapa de teflón.

Las muestras para determinar la toxicidad y las bacterias coliformes fecales y totales son colectadas en frascos y materiales especiales esterilizados. Para evaluar la toxicidad se realizarán bioensayos microbianos con el equipo MICROTOX. Los estudios con microorganismos han demostrado que éstos son adecuados y recomendables para la evaluación de la toxicidad aguda de muestras ambientales (agua, sedimento y efluentes industriales).

Las muestras se preservan mediante refrigeración o se les adicionan sustancias específicas, según los requerimientos individuales de las técnicas. Algunos parámetros son procesados inmediatamente en el laboratorio acondicionado para estas actividades en campo: mediciones de pH, clorofilas y las extracciones de hidrocarburos y de material orgánico extraíble.

#### **1.5.1.3. Plancton**

La colecta de muestras de organismos fitoplanctónicos es realizada siguiendo el método de muestras puntuales, tomadas en superficie, media agua y de fondo. Las muestras son tomadas con una botella Van Dorn y trasvasadas a frascos de vidrio de 250 ml de boca ancha. Posteriormente son preservadas con la adición de una solución de acetato-lugol. Las muestras obtenidas se transportan posteriormente al laboratorio para su análisis.

Para la toma de muestras de organismos zooplanctónicos se utilizan redes tipo CalCofi, cilindro cónico con un flujómetro General Oceanics tipo torpedo acoplado al centro de la boca para estimar el flujo filtrado. La abertura de malla fue de 254 micras con boca de 50 cm (Tranter, 1968; Schwoerbel, 1970; APHA, 1985), el muestreo se realiza mediante arrastres horizontales a diferentes profundidades, superficie, zona de mezcla y fondo, a una velocidad constante durante un minuto. Una vez que se obtienen las muestras, se trasvasan a frascos de 250 ml, preservándose con formol al 4% neutralizado con borato de sodio para estabilizar el pH, el material así colectado se almacena en frascos de vidrio con tapa plástica, para su posterior análisis en el laboratorio.

Para la evaluación de biomasa se utiliza un separador Folsom para fraccionar las muestras, método 1002-F (APHA, 1985). La determinación de biomasa se hace siguiendo el método 1002-H.5 (APHA, 1985), evaluando gravimétricamente en

peso seco el volumen de la muestra pasado a través de un filtro de 0.45 micra de diámetro de abertura de poro, reportándose como  $g/m^3$ .

#### **1.5.1.4. Sedimentos**

Las muestras de sedimentos para las diferentes determinaciones son colectadas con una draga Van Veen. Tomándose dos o tres muestras en cada estación hasta alcanzar un volumen aproximado a los 12 litros de sedimentos en cada una de las estaciones. Las muestras así colectadas son fraccionadas y almacenadas en diversos recipientes, dependiendo el uso posterior de la misma.

Las muestras de sedimento se colectaron también en diferentes recipientes: las de granulometría y de metales pesados son depositadas en frascos de plástico de 250 ml; las de toxicidad en recipientes de plástico de 60 ml, mientras que las muestras para la determinación de hidrocarburos y de material orgánico se colectan en frascos de vidrio de 250 ml, utilizando una pala de madera en el llenado, para evitar interferencias.

El sedimento sobrante después de la toma de muestras se almacena en bolsas de plástico, preservándose con formol al 4%. Para la cuantificación de organismos bentónicos se determina el volumen de la muestra, la cual se tamiza empleando una malla de 0.59 mm, con el fin de separar los organismos del macrobentos, (Holme y McItyre, 1971), los cuales son colocados en frascos de vidrio de boca ancha de 1000 ml de capacidad, preservándose con alcohol al 70 %; para su posterior identificación y cuantificación en  $org/m^3$ . La identificación se lleva a cabo a grandes grupos utilizando claves y separándolos en poliquetos, moluscos, crustáceos y protozoarios.

Adicionalmente se toman muestras de agua, sedimentos, organismos (peces y crustáceos) así como de la vegetación ribereña para determinar la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

#### **1.6. Control de calidad**

Es necesario, para cumplir con los procedimientos de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), que las entidades responsables de los muestreos estén acreditadas de acuerdo a lo normado en la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, a fin de poder garantizar que las actividades de muestreo y análisis serán realizadas con los controles de calidad requeridos para este fin.

En este sentido es obligatorio que las personas, por lo menos los responsables del muestreo, cuenten con dichas acreditaciones. Normalmente, los muestreos son supervisados por personal de la PROFEPA, y estos se encargan de verificar el conocimiento y destreza del equipo de muestreo y asegurar la calidad de toda esta etapa del estudio.

Presentar la bitácora del laboratorio, en la que se documenten los métodos considerados, la fecha de la última calibración de los equipos, los métodos de preservación de las muestras, tiempos máximos de almacenamiento. Asimismo la preparación de las técnicas con sus curvas de calibración y los límites mínimos detectables.

Por otro lado, debe llevarse una bitácora detallada de las actividades realizadas de acuerdo al plan de trabajo, propuesto, concertado y autorizado por la supervisión de la PROFEPA. Así como, del llenado de las cadenas de custodia de cada una de las muestras tomadas y las evidencias gráficas recavadas. Tanto la bitácora como las cadenas de custodia deberán ser firmadas por el o los responsables del muestreo, el líder de proyecto, la supervisión de personal de Petróleos Mexicanos y la supervisión de la PROFEPA.

### **1.7. Análisis de la información**

Como punto medular del análisis de información, se recomienda centralizar la información en un sistema de fácil acceso, en el que se incluya en sus bases la información histórica recabada al inicio del proyecto, las reglas del negocio y casos de uso, para poder implantar controles automatizados de aseguramiento y control de calidad, así como las coordenadas geográficas de la información generada.

Esta parte no es trivial, ya que frecuentemente no se cuenta con el apoyo suficiente para realizar esta tarea, los patrocinadores no están concientizados con la importancia y ahorro que este sistema representa para el estudio, representa una alta complejidad el planteamiento del modelo lógico del sistema, ya que deben interactuar especialistas en diferentes campos ambientales y computacionales. Por lo que la vigilancia en el proceso de toma de decisiones y la dificultad de la integración del equipo de proyecto constituyen un reto mayor.

Sin embargo, los beneficios que representa contar con un sistema de soporte para el proyecto, son grandes. Por un lado asegura el control y aseguramiento de la calidad, minimiza los tiempos de preparación del dato para el análisis, estandariza, normaliza y valida la información con procesos que pueden llegar a automatizarse, y lo mas importante, el investigador tiene mas tiempo para realizar el análisis de la información, tiene disponible la información de otras especialidades y esto facilita el poder realizar análisis integrales e identificar nichos de oportunidad para poder encontrar las soluciones mas adecuadas para la solución de los problemas reales o potenciales identificados en el estudio.

#### **1.7.1. Análisis estadístico (Tendencia central y dispersión)**

El describir la información puntual es poco práctico, laborioso y aporta poco al análisis integrado. Por lo que es conveniente, que se realice la primer parte descriptiva del análisis describiendo los resultados estadísticos de tendencia

central y dispersión, acompañándolos de los valores normativos. Esta estrategia facilita identificar en forma rápida aquellos contaminantes que por sus concentraciones representan un peligro real o potencial para el ecosistema y a la salud. También es importante realizar el análisis por subsistema analizado, que de acuerdo a lo planteado en la etapa de diseño de muestreo. Así además de identificar factores críticos, también podrían ser relacionados con los compartimentos en los que se encuentran las mayores concentraciones.

En el Tabla 4, se describe como la información puede ser representada para su análisis estadístico. En este se muestra información sobre metales pesados de una campaña de muestreo realizada en mayo de 1999 en la Cuenca Baja del Río Pánuco. En lo subsecuente se utilizará esta información para ejemplificar los métodos descritos para las subsecuentes etapas del proyecto.

**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales**  
**Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**

**ESTADISTICA GLOBAL**

	CADMIO ppb	ZINC ppb	CROMO ppb	PLOMO ppb	NIQUEL ppb	COBRE ppb	VANADIO ppb	ARSENICO ppb	MERCURIO ppb	CIANUROS ppb
PROM	0.664	2.898	0.227	1.234	1.357	0.821	0.863	1.321	0.81	0.01
D.S.	0.532	1.864	0.127	1.084	0.964	0.968	0.568	1.043	0.55	0.00
C.V.	80.120	64.310	56.019	87.845	71.077	117.788	65.815	78.965	68.07	16.31
I.C.	0.154	0.716	0.040	0.382	0.285	0.414	0.200	0.341	0.26	0.00
MAX	2.17	6.32	0.53	5.36	3.68	3.19	2.06	3.18	1.95	0.011
MIN	0.05	0.20	0.05	0.10	0.09	0.07	0.17	0.11	0.15	0.006
n	46	26	39	31	44	21	31	36	17	54
Normatividad o referencia										

Fuente:

**ESTADISTICA SUPERFICIE**

	CADMIO ppb	ZINC ppb	CROMO ppb	PLOMO ppb	NIQUEL ppb	COBRE ppb	VANADIO ppb	ARSENICO ppb	MERCURIO ppb	CIANUROS ppb
PROM	0.507	3.689	0.225	1.346	1.061	1.032	0.846	1.391	0.93	0.01
D.S.	0.426	1.839	0.122	1.359	0.731	1.133	0.585	1.072	0.74	0.00
C.V.	83.954	49.844	54.332	100.922	68.955	109.792	69.141	77.054	79.37	15.73
I.C.	0.164	0.931	0.052	0.646	0.287	0.641	0.263	0.438	0.65	0.00
MAX	2.17	6.32	0.47	5.36	3.31	3.19	2.06	3.18	1.95	0.011
MIN	0.07	0.82	0.05	0.10	0.23	0.07	0.22	0.13	0.15	0.006
n	26	15	21	17	25	12	19	23	5	32
Normatividad o referencia										

Fuente:

**ESTADISTICA MEDIA AGUA**

	CADMIO ppb	ZINC ppb	CROMO ppb	PLOMO ppb	NIQUEL ppb	COBRE ppb	VANADIO ppb	ARSENICO ppb	MERCURIO ppb	CIANUROS ppb
PROM	0.803	1.566	0.206	0.974	1.636	0.662	0.916	1.079	0.80	0.01
D.S.	0.453	0.974	0.109	0.538	0.820	0.777	0.454	0.949	0.48	0.00
C.V.	56.350	62.169	53.139	55.176	50.097	117.377	49.572	87.924	60.07	16.22
I.C.	0.246	0.675	0.057	0.351	0.464	0.621	0.336	0.620	0.31	0.00
MAX	1.52	3.31	0.48	2.03	2.98	2.10	1.53	2.90	1.72	0.01
MIN	0.07	0.31	0.07	0.44	0.36	0.09	0.38	0.11	0.24	0.006
n	13	8	14	9	12	6	7	9	9	15
Normatividad o referencia										

Fuente:

**ESTADISTICA FONDO**

	CADMIO ppb	ZINC ppb	CROMO ppb	PLOMO ppb	NIQUEL ppb	COBRE ppb	VANADIO ppb	ARSENICO ppb	MERCURIO ppb	CIANUROS ppb
PROM	0.986	2.493	0.308	1.320	1.934	0.300	0.852	1.468	0.64	0.01
D.S.	0.828	2.096	0.205	0.798	1.543	0.218	0.750	1.280	0.58	0.00
C.V.	84.042	84.066	66.508	60.457	79.784	72.848	88.045	87.210	91.26	11.26
I.C.	0.614	2.372	0.200	0.699	1.143	0.247	0.658	1.254	0.66	0.00
MAX	1.96	4.31	0.53	2.17	3.68	0.55	1.99	2.91	1.3	0.008
MIN	0.05	0.20	0.08	0.43	0.09	0.15	0.17	0.35	0.19	0.006
n	7	3	4	5	7	3	5	4	3	7
Normatividad o referencia										

Fuente:

**CUADRO . RESUMEN ESTADISTICO DE LOS CONTAMINANTES EN SEDIMENTO EN EL RIO PANUCO (MAYO, 1999)**

	MAT. ORG. EXT. ppm	ARSENICO ppm	CADMIO ppm	CROMO ppm	COBRE ppm	MERCURIO ppm	NIQUEL ppm	PLOMO ppm	VANADIO ppm	ZINC ppm
PROM	837.713	8.145	1.703	17.282	27.334	0.706	32.644	40.067	25.000	132.807
D.S.	475.826	2.350	0.473	3.014	8.979	0.211	3.929	9.244	0.000	48.658
C.V.	56.801	28.856	27.752	17.441	32.849	29.944	12.036	23.072	0.000	36.638
I.C.	82.866	0.409	0.082	0.525	1.564	0.037	0.684	1.610		8.474
MAX	1646.00	12.91	2.49	21.70	39.46	0.98	37.32	53.44	25.00	216.61
MIN	8.70	3.50	0.90	9.35	8.56	0.18	25.35	20.73	25.00	48.08
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Normatividad o referencia										

Fuente:

**Tabla 4. Información estadística de metales pesados para la Cuenca Baja del Río Pánuco. Mayo de 1999.**



## **1.8. Análisis integral**

Uno de los problemas principales cuando se realiza el análisis de resultados, es poder interpretar de manera integral si la presencia de un contaminante representa un riesgo para el ecosistema y la salud, principalmente cuando se tienen vacíos considerables de información, o bien la existente es insuficiente. Tal es caso de la presencia de metales pesados en la columna de agua.

### **1.8.1. Uso de indicadores e índices**

Inicialmente es conveniente identificar cual o cuales de los contaminantes se encuentra en concentraciones por arriba de las normas o criterios establecidos para la protección del ambiente, usando como sustento el análisis estadístico descrito anteriormente. Posteriormente deberá de realizarse un procedimiento de estandarización y normalización de la información que permita hacerla comparable entre sí, lo que daría como resulta, la transformación de las concentraciones en indicadores para su análisis.

El uso de los indicadores, permite establecer estrategias para su seguimiento y control, para los casos particulares, asociando éstos con las posibles fuentes generadoras. Proporcionan información oportuna, precisa y confiable acerca del ambiente y el desarrollo sustentable a la hora de tomar decisiones. Estos poseen el potencial de constituir importantes herramientas sustentadas científica y técnicamente. Además, facilitan el acceso a dicha información a los diferentes grupos de usuarios, permitiendo transformar la información en acción (CIAT – Banco Mundial – PNUMA, citado en Autoridad Nacional del Ambiente, 2000).

La importancia de utilizar indicadores o índices es que permiten medir conceptos complejos y multidimensionales, que son difíciles de observar y describir directamente, por lo que sintetizan una gran cantidad de información de una manera simple y práctica. La sencillez de estos índices integrados facilitan el acceso a la información al público en general y a otros usuarios potenciales" (Autoridad Nacional del Ambiente, 2000. p. 4).

Los indicadores representan importantes herramientas para la comunicación de información científica y técnica, ya que pueden facilitar el acceso a la misma por parte de diferentes grupos de usuarios, permitiendo transformar la información en acciones concretas. De esta forma pueden desempeñar, una función activa en el mejoramiento de los procesos de formulación de políticas. Sin embargo, las iniciativas para desarrollar indicadores, requieren de un cierto grado de infraestructura si se espera que produzcan la clase de cambios que buscan los usuarios.

El desarrollo de herramientas fáciles de usar y el empleo de un marco conceptual común para el desarrollo de indicadores, facilitan no sólo la transformación de los datos en información útil, sino también la formulación de estrategias para la

elaboración de políticas y la planificación. Los pasos que comúnmente se dan en la elaboración de indicadores y de información son los siguientes:

- Elaboración de un marco conceptual que permita estructurar y organizar los indicadores.
- Definición de criterios de selección de los indicadores, discusión sobre indicadores contra índices, índices de desarrollo sostenible, y métodos o herramientas analíticos.
- Establecimiento de una red consultiva para garantizar que los resultados se empleen y que la iniciativa sea sostenible.
- Búsqueda de datos y desarrollo de bases de datos para los conjuntos de indicadores y de herramientas analíticas.
- Desarrollo de capacidades y herramientas para visualizar la información y analizar las relaciones de causa a efecto

En este trabajo se presenta una propuesta para poder generar un índice de calidad del agua por la presencia de metales pesados, generado a partir del comportamiento de cada uno de ellos y posteriormente integrando su contribución en un índice de calidad del agua, que permita calificarla.

Para este fin, se consideraron todos los resultados de metales pesados generados del estudio realizado en la cuenca baja de río Pánuco, en el que se realizaron dos campañas de muestreo, una en octubre de 1998 y otra en mayo de 1999, lluvias y estiaje respectivamente.

Como una estrategia para poder comparar los metales pesados en una forma integral que permitiera identificar su contribución a la calidad del agua, se analizó cada uno de ellos con respecto a sí mismo, considerando todos los registros reportados para las dos temporadas de muestreo, posteriormente se identificó la ecuación que mejor se ajustó al comportamiento de los datos y esta fue utilizada para transformar las concentraciones en un indicador de calidad para cada uno de los metales estudiados.

En el Tabla 5, se presentan las funciones exponenciales para cada una de las variables mencionadas, asimismo en la figura 7 se muestran los gráficos para cada uno de ellos, en los que se puede observar el comportamiento en relación con la concentración.

Variable	Indicador de calidad	Ponderación
Cadmio	$I_{Cd}=114.473(C_{Cd})^{-2.172}$	0.11
Zinc	$I_{Zn}= 102.390 (C_{Zn})^{-0.472}$	0.11
Cromo	$I_{Cr}= 120.587 (C_{Cr})^{-3.744}$	0.11
Plomo	$I_{Pb}= 103.753 (C_{Pb})^{-0.737}$	0.11
Níquel	$I_{Ni}= 104.713 (C_{Ni})^{-0.921}$	0.11
Cobre	$I_{Cu}= 102.143 (C_{Cu})^{-0.424}$	0.11
Vanadio	$I_{V}= 104.050 (C_{V})^{-0.794}$	0.11
Mercurio	$I_{Hg}= 103.550 (C_{Hg})^{-0.670}$	0.11

**Tabla 5. Ecuaciones utilizadas para obtener el indicador de calidad por presencia de metales pesados en función de comportamiento en el río Pánuco durante las campañas de lluvias (noviembre, 1998) y estaje (mayo, 1999).**

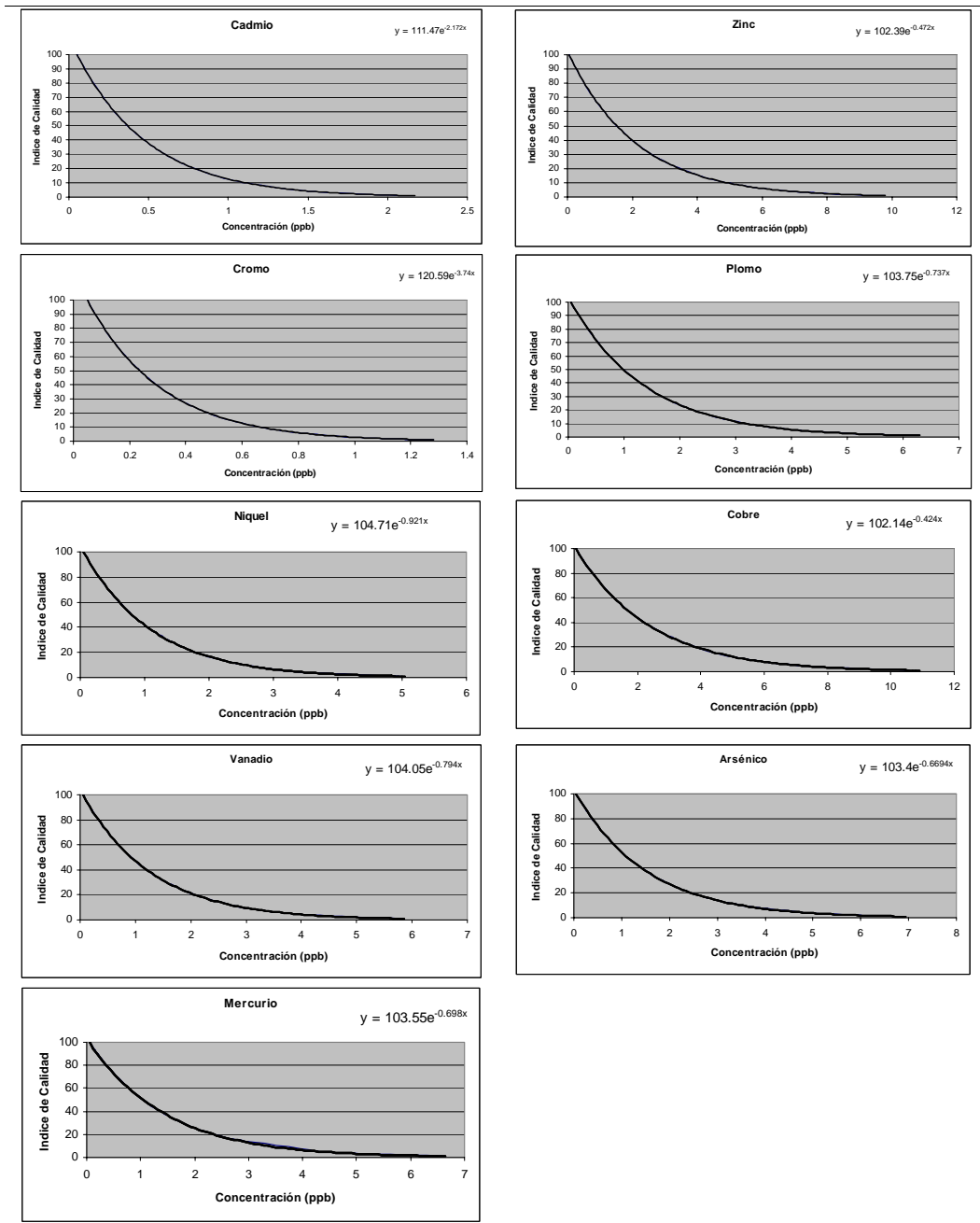


Figura 6 Comportamiento de cada uno de los metales pesados durante las campañas de lluvias (noviembre, 1998) y estaje (mayo, 1999).

### 1.8.2. Modelación hidrodinámica

El uso de modelos hidrodinámicos y de calidad del agua representa una oportunidad para poder interpretar los resultados obtenidos en una forma integradora, además de poder conocer como es la dinámica del sistema y como a

partir de ésta poder modelar el comportamiento de los contaminantes problemas, en un marco espacio temporal.

El Instituto Mexicano del Petróleo cuenta con un modelo ANAITE, desarrollado por el Dr. Hermilo Ramírez León y aplicado en la tesis de maestría “Modelación Numérica e Indicadores de Sensibilidad Ambiental. Aplicación a la Desembocadura del Río Pánuco”, en donde se desarrollaron, calibraron y aplicaron los modelos de calidad del agua para evaluar y diagnosticar el estado actual de los ríos. Estos modelos de calidad tienen varios componentes que van desde módulos de transporte en donde se resuelven aspectos hidrodinámicos, hasta módulos de reacción en donde el comportamiento de las sustancias en el medio es evaluado (Islao, 2004).

Este modelo cuenta con los módulos de transporte, hidrodinámico y los submódulos de calidad del agua para variables físicas, químico-biológicas y sustancias tóxicas en estado transitorio, en el que se consideran los efectos de la marea y condiciones hidrológicas de la cuenca. Es bidimensional, por lo que integra la información en la vertical, mostrando los resultados en un sólo plano.

Dado que los resultados utilizados en este trabajo, consideran un sistema estratificado, con por lo menos tres capas de agua perfectamente diferenciadas, se consideró como estrategia el correr el modelo hidrodinámico para un intervalo de tiempo de 15 días, antes y después del muestreo, y después integrar los resultados para cada uno de los estratos (superficie, zona de mezcla y fondo) independientemente, para poder ver el comportamiento de cada uno los metales pesados evaluados y el índice de calidad del agua asociado a los mismos, que se describirá más adelante.

Para la modelación hidrodinámica se realizan simulaciones numéricas que permiten evaluar el incremento en el nivel de superficie libre de los ríos Grijalva, Coatzacoalcos y Pánuco, mediante la aplicación de las ecuaciones para aguas someras. Se construyen escenarios para tres diferentes épocas del año (secas, lluvias y nortes), en las cuales se utilizan los gastos hidrológicos correspondiente a cada cuenca y los niveles medios del nivel del mar en la desembocadura de cada río. Se construyen también escenarios hipotéticos en los que se adicionan, valores de 40, 60 y 100 cm, observando con esto el comportamiento e incremento de la superficie libre en los ríos.

### 1.8.2.1. Localización del área de estudio



Figura 7 Localización geográfica de la zona de estudio

El río Panuco en el Edo de Tamaulipas cuya desembocadura está en el Golfo de México (Figura 7), es de los principales ríos del país.



Figura 8 Río Pánuco

El río Pánuco pertenece a la región hidrológica 26 "A" Bajo río Pánuco y se forma de la unión de los ríos Tampaón y Moctezuma. Es una corriente perenne que sirve de límite a dos entidades federativas, Tamaulipas y Veracruz. Forma el límite entre el Distrito sur del estado de Tamaulipas y el Cantón de Ozulama del estado de Veracruz, en sus cursos superior e inferior; en su curso medio atraviesa el Municipio de Pánuco, del mismo Cantón, y por la barra de Tampico desemboca en el Golfo de México (Figura 9). La parte baja del Pánuco, está formada por tierras bajas y planicies, solo interrumpidas por escasas colinas que descienden hasta la playa; cuenta con numerosas lagunas. El tramo en estudio de este trabajo, corresponde a los últimos 100 km del río, es decir, a partir del poblado de Pánuco, Ver., y hasta su desembocadura en el Golfo de México.

#### **1.8.2.2. Datos de referencia**

La información analizada y procesada fue obtenida de diferentes estudios y herramientas disponibles. Se obtuvo información pertinente a las tres épocas del año de interés: secas, lluvias y nortes.

#### **1.8.2.3. Estimación de las batimetrías**

La batimetría fue obtenida a partir de la información presentada en el Estudio de Clasificación del Río Pánuco realizado por el IMTA en 1997. Todos los datos fueron procesados y adaptados para que pudieran ser leídos por el modelo, conforme a la malla numérica diseñada para tal efecto.

#### **1.8.2.4. Análisis de los resultados de la modelación**

En esta sección se describe el procedimiento llevado a cabo para la recopilación y procesamiento de la información hidrológica y oceanográfica, de tal manera que se pudiera disponer de los parámetros naturales que determinan el comportamiento hidrodinámico del sistema estudiado, tales como, precipitación, escurrimiento, niveles de marea. En las siguientes secciones se detalla la información obtenida.

##### **1.8.2.4.1. Hidrológica**

Para el análisis de la información hidrológica, se utilizaron diferentes cartas digitales a escala 1:250,000 elaboradas por INEGI y manejadas a través del software ArcView 9.2, sobreponiendo las cartas hidrológicas, de escurrimiento medio anual, de cuencas y de regiones hidrológicas (Figura 9). A partir de dichas cartas se pudo determinar que el río Pánuco se encuentra en la región hidrológica RH26 con una cuenca de aproximadamente 8,816.60 km<sup>2</sup>.



Figura 9 Región hidrológica de la zona de estudio

#### 1.8.2.4.2. Meteorológica

La información meteorológica se obtuvo del software ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica), desarrollado por el IMTA y difundido por CONAGUA.

Inicialmente se localizaron mediante la carta digital de Estaciones Climatológicas a escala 1:250,000, las estaciones más cercanas a la zona de estudio, siendo preseleccionadas las que se presentan en la Figura 10 y describen en la tabla 6.



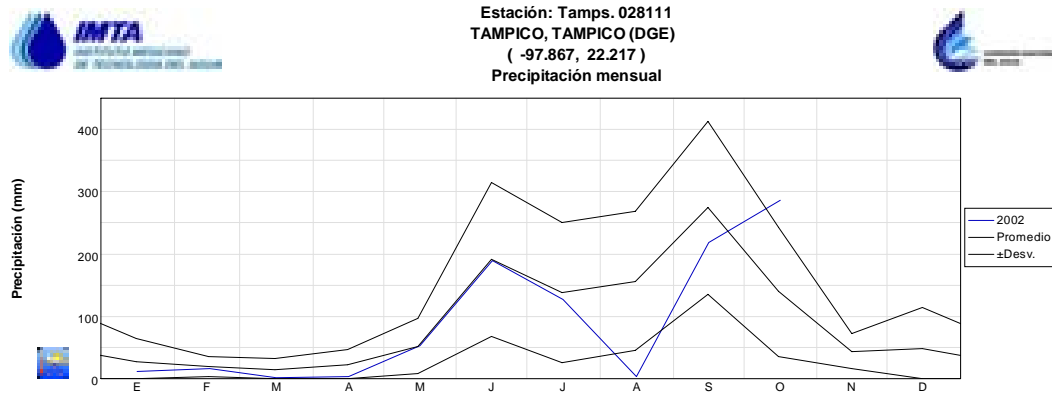
Figura 10 Ubicación de las estaciones meteorológicas para el río Pánuco



No. Estación	Nombre	Estado	Latitud	Longitud
28126	Tampico (CFE)	Tamaulipas	22°13'1.372"N	97°51'1.008"W
28111	Tampico (DGE)	Tamaulipas	22°12'58.485"N	97°52'1.635"W

**Tabla 6. Estaciones climatológicas**

Los resultados del procesamiento de la información de las estaciones seleccionadas, se muestra en la Figura 11. El ERIC para dichas estaciones, cuenta con datos de precipitación, evaporación y temperatura desde el año 1963 hasta el año 2002.



**Figura 11 Evolución mensual de la precipitación en Pánuco**

### 1.8.2.4.3. Oceanográfica

El Instituto de Geofísica de la UNAM, la Secretaría de Marina y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) mantienen estaciones de medición de alturas de mareas en los puertos principales de México en las costas del Pacífico, Golfo de México, Golfo de California y Mar Caribe. Fue necesario conocer la variación de la marea en las desembocaduras, para lo cual se utilizó la información de la estación Tuxpan que era la estación más cercana. Con dicha información se pudo conocer la variación del nivel de marea en los tres ríos.

Los datos de marea en el río Pánuco fueron obtenidos con el software para predicción de mareas: Mar V08 2008, desarrollado por el CICESE y descargado desde su página de INTERNET ([www.cicese.mx](http://www.cicese.mx)). Se obtuvieron datos de marea para los meses de mayo de 1999, y octubre de 1998 correspondiente a la época Víctor Manuel García Vázquez

de secas y lluvias, respectivamente. En las Figuras 13 y 14 se muestran las graficas de marea.

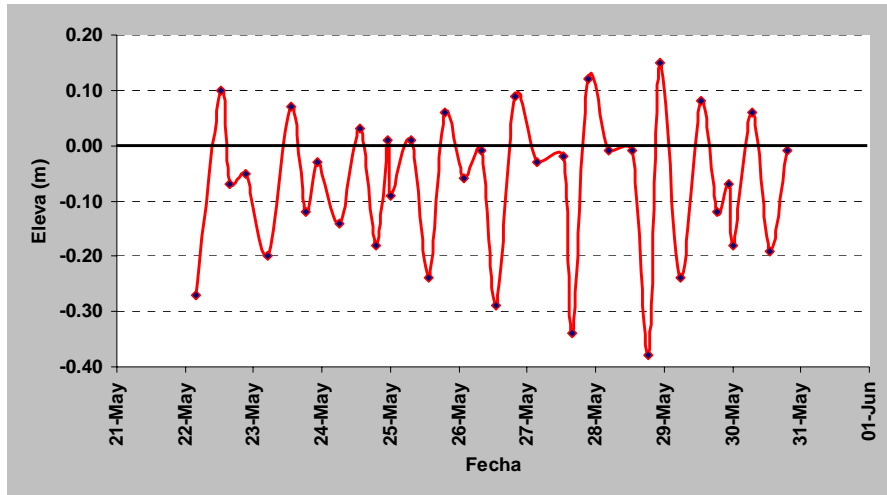


Figura 12 Gráfica de predicción de marea (Mayo de 1999)

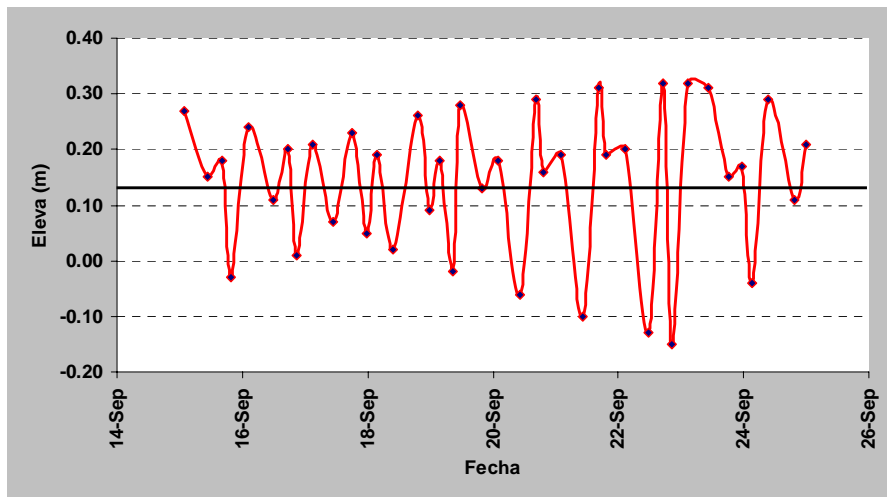


Figura 13 Gráfica de predicción de marea (Octubre de 1998)

#### 1.8.2.5. Modelación de las corrientes hidrodinámicas

La metodología implementada en este trabajo consistió inicialmente en la generación de una malla numérica mediante un software especializado, se imponen condiciones iniciales y de frontera (marea, nivel de la superficie libre del agua, y estado hidrodinámico), se realizan simulaciones numéricas y, finalmente, se comparan con las mediciones de velocidad disponibles. El procedimiento, y cada una de los puntos antes mencionados, se repiten tantas veces como sea necesario hasta encontrar las condiciones óptimas.

### 1.8.2.6. Descripción del modelo hidrodinámico

Siguiendo con los objetivos principales del estudio, se adaptó un modelo numérico integrado en la vertical. Dicho modelo permite tomar en cuenta, las variaciones en la profundidad o la profundidad media, así como los contornos de la topografía. El modelo fue alimentado con la información recopilada en las campañas de medición, así como los balances hidrológicos, para posteriormente determinar la hidrodinámica del río.

El modelo numérico resuelve directamente las ecuaciones para la hidrodinámica de flujos con superficie libre en tres dimensiones con la integración en la vertical de multicapas, el programa fuente y sus subrutinas están escritas en el lenguaje de programación FORTRAN 90.

#### 1.8.2.6.1. Diseño de las mallas numéricas

Es posible realizar la malla de cálculo o numérica por medio de una hoja de cálculo o por medio del programa ARGUS ONE (<http://www.argusint.com>), éste último fue el que se decidió utilizar en éste trabajo. El programa ARGUS ONE es un paquete comercial, el cual realiza de una manera muy rápida y fácil la división de cualquier ecosistema acuático en elementos (celdas) rectangulares.

El tramo modelado del río Pánuco tiene una longitud de 22 Km aproximadamente. En la Figura 14 se muestra la malla de cálculo de este sistema con un espaciamiento de  $\Delta x = 100$  y  $\Delta y = 100$ . Esta malla se generó con el ángulo apropiado a la configuración del río, optimizando el rendimiento del modelo. Cuenta con 223 elementos en la dirección x, y 50 elementos en la dirección y, lo que da un total de 11150 elementos.

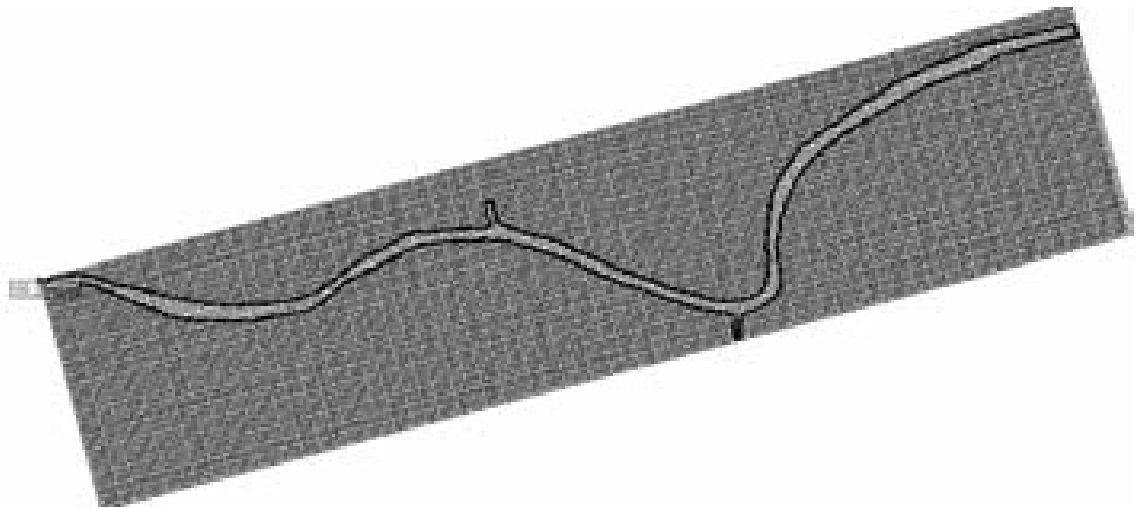


Figura 14 Malla numérica del Pánuco

### 1.8.2.6.2. Diseño de los escenarios de simulación para el río Pánuco

Se realizaron 2 escenarios de simulación, para cada una de las estaciones: secas y lluvias. En cada escenario, se incluyeron las forzantes (gasto hidrológico y marea) analizadas previamente en la sección 1.8.2.4.3. Para estas simulaciones el paso de tiempo utilizado fue  $\Delta t = 5.0$  s y se simuló un periodo de 12 días.

Los resultados para este escenario se observan en las figuras 16 y 17.

### 1.8.2.6.3. Escenario 1 Pánuco: época de secas

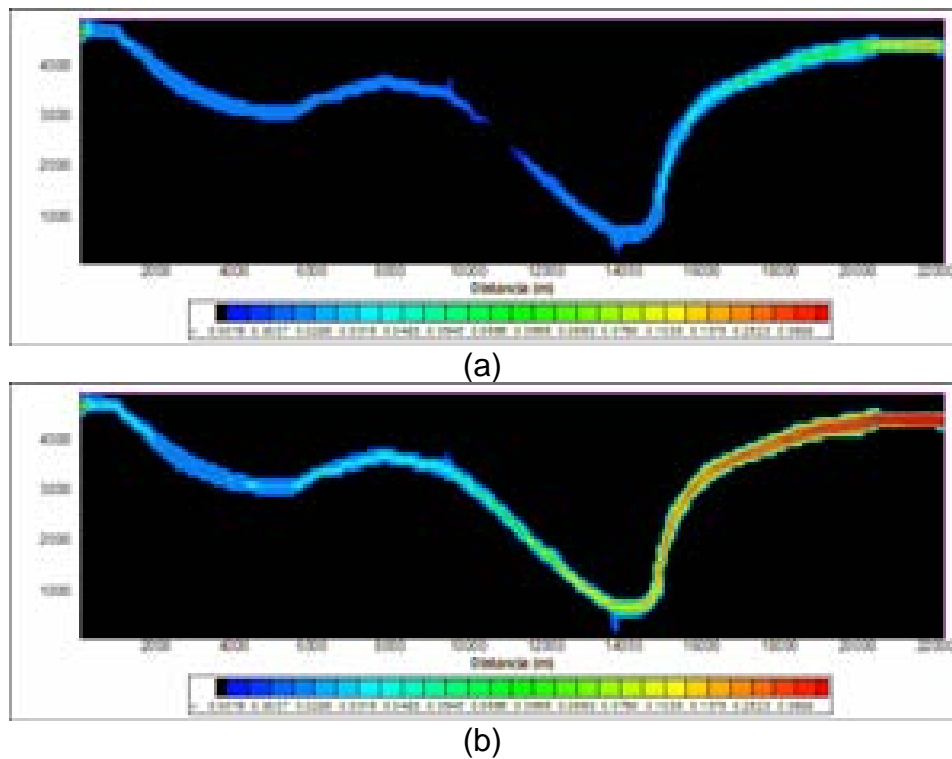


Figura 15 Simulación de la hidrodinámica: (a) 3 días, (b) 12 días

#### 1.8.2.6.4. Escenario 2 Pánuco: época de lluvias

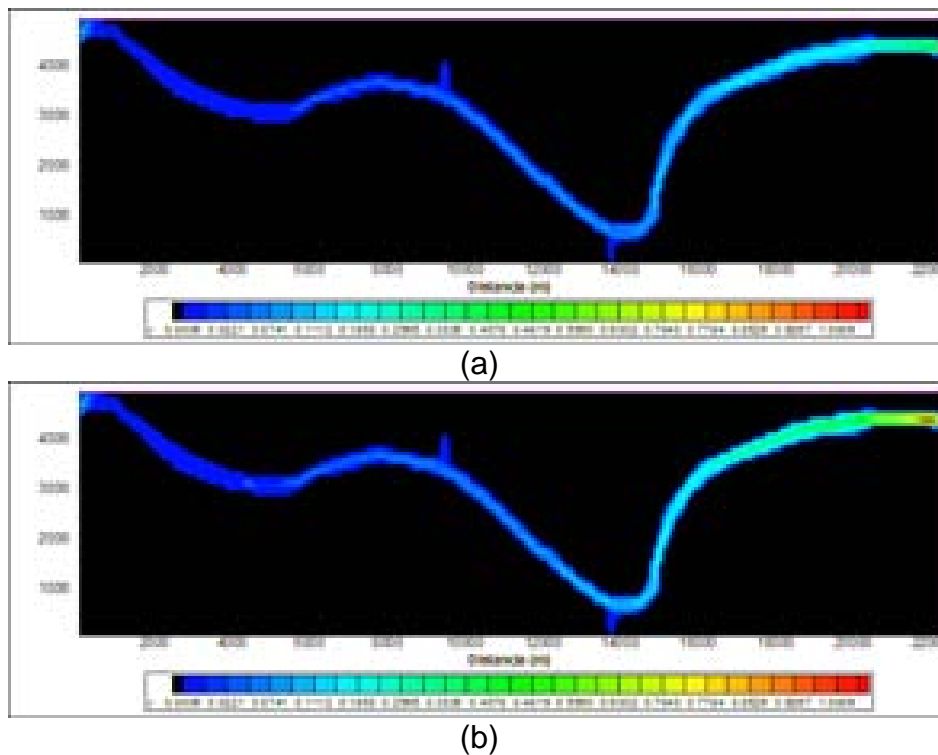


Figura 16 Simulación de la hidrodinámica: (a) 3 días, (b) 12 días

La figura 18 muestra la ubicación de las industrias asentadas en las márgenes del río Pánuco, en la que se ilustra la ubicación y giro industrial de cada una de ellas.



Figura 17 Principales industrias asentadas en las márgenes del Río Pánuco

En la figura 19 se muestra el resultado del modelo para el cadmio, en el que se puede observar el comportamiento espacio temporal en la cuenca baja del río Pánuco.

**Cadmio en fondo en la Cuenca Baja del río Pánuco  
Mayo, 1990**

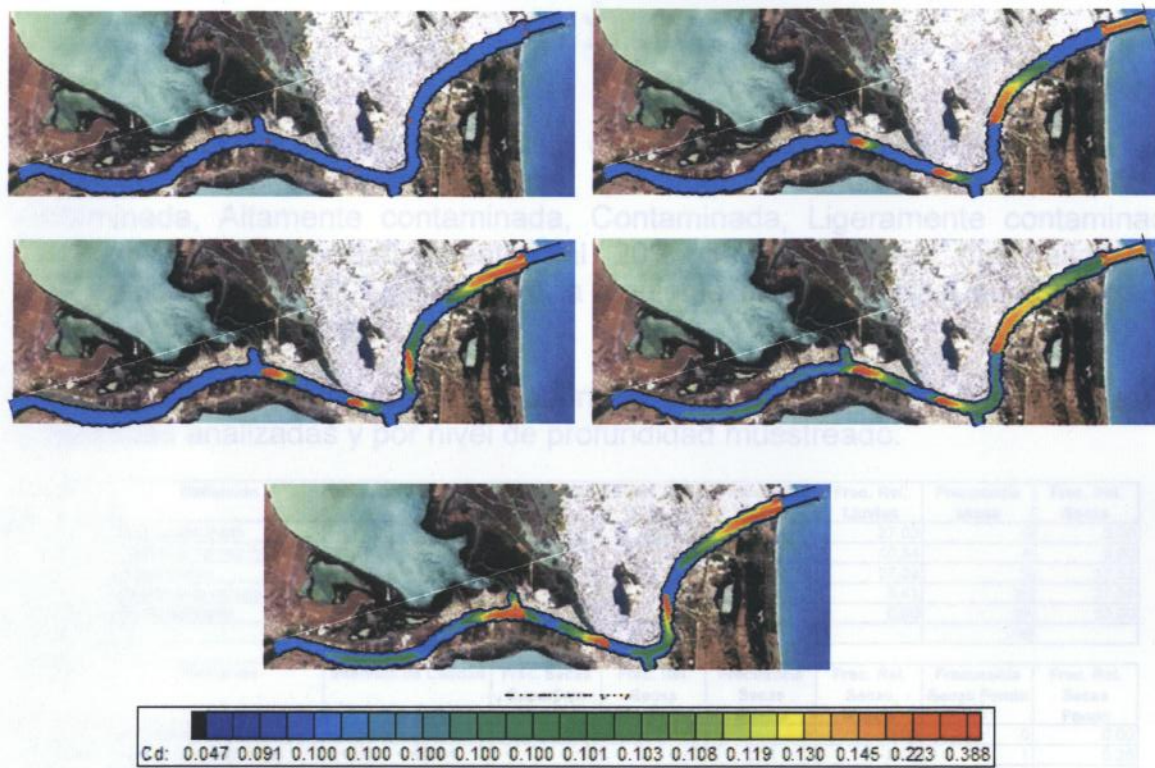


Figura 18 Comportamiento espacio-temporal del Cadmio en la Cuenca Baja del Río Pánuco. Mayo, 1999

### 1.8.3. Generación de nuevos escenarios (por ejemplo, Modelación de la calidad del agua por la presencia de metales pesados (ICA<sub>MP</sub>))

Los indicadores obtenidos para cada uno de los metales pesados, se integraron para conformar un índice de calidad del agua por la presencia de metales pesados en el sistema. Cada uno de los indicadores se ponderó y como una prueba inicial, a cada uno de los nueve metales considerados, se les asignó un valor de ponderación igual, dado que para contar con una ponderación más certera es necesario realizar consultas de expertos y realizar pruebas de sensibilidad del modelo.

### 1.8.3.1. Integración de indicadores en índices

Con estas funciones se transformaron los resultados de metales pesados reportados en el estudio en funciones de calidad, y posteriormente se utilizó un factor de ponderación ( $W_i$ ) común para cada uno de ellos en función de su escasa reactividad en el sistema.

$$I_{MP} = \sum_{i=1}^n (i) W_i$$

Posteriormente, se realizó un análisis de percentiles a los resultados de  $I_{MP}$ , identificando así 5 clases, mismas que fueron denominadas como; Muy contaminada, Altamente contaminada, Contaminada, Ligeramente contaminada No contaminada, correspondientes al 20% de los valores mas altos, los encontrados entre el 60 y 80% para la siguiente categoría y así sucesivamente para las siguientes clases.

En el tabla 7, se muestran las frecuencias encontradas para cada una de las temporadas analizadas y por nivel de profundidad muestreado.

Clase	Definición	Intervalo de Calidad	Frecuencia Global	Frec. Rel. Global	Frecuencia Lluvias	Frec. Rel. Lluvias	Frecuencia secas	Frec. Rel. Secas
5	Muy contaminada	<= 19.03	10	10.53	10	27.03	0	0.00
4	Altamente contaminada	> 19.03 - <=29.04	19	20.00	15	40.54	4	6.90
3	Contaminada	> 29.04 - <=43.14	19	20.00	10	27.03	9	15.52
2	Ligeramente contaminada	> 43.14 - <=61.47	18	18.95	2	5.41	16	27.59
1	No contaminada	> 61.47	29	30.53	0	0.00	29	50.00
		n	95	100.00	37		58	

Clase	Definición	Intervalo de Calidad	Frec. Secas Superficie	Frec. Rel. Secas Superficie	Frecuencia Secas Mezcla	Frec. Rel. Secas Mezcla	Frecuencia Secas Fondo	Frec. Rel. Secas Fondo
5	Muy contaminada	<= 19.03	0	0.00	0	0.00	0	0.00
4	Altamente contaminada	> 19.03 - <=29.04	1	5.00	2	9.09	1	6.25
3	Contaminada	> 29.04 - <=43.14	1	5.00	3	13.64	5	31.25
2	Ligeramente contaminada	> 43.14 - <=61.47	5	25.00	5	22.73	6	37.50
1	No contaminada	> 61.47	13	65.00	12	54.55	4	25.00
	n	n	20	100	22	100	16	100

Clase	Definición	Intervalo de Calidad	Frec. Lluvias Superficie	Frec. Rel. Lluvias Superficie	Frecuencia Lluvias Mezcla	Frec. Rel. Lluvias Mezcla	Frecuencia Lluvias Fondo	Frec. Rel. Lluvias Fondo
5	Muy contaminada	<= 19.03	5	18.52	3	60.00	2	40.00
4	Altamente contaminada	> 19.03 - <=29.04	11	40.74	1	20.00	3	60.00
3	Contaminada	> 29.04 - <=43.14	9	33.33	1	20.00	0	0.00
2	Ligeramente contaminada	> 43.14 - <=61.47	2	7.41	0	0.00	0	0.00
1	No contaminada	> 61.47	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	n	n	27	100	5	100	5	100

**Tabla 7. Resultados de el índice de calidad del agua por presencia de metales pesados en la Cuenca Baja del Río Pánuco.**

### 1.8.3.2. Simulación del índice de calidad del agua

Los algoritmos para cada uno de los metales fueron incorporadas al Modelo ANAITE en el modulo de calidad de agua, Se simulo la calidad del agua mediante la aplicación de un índice de calidad del agua para metales (ICATOX). Los

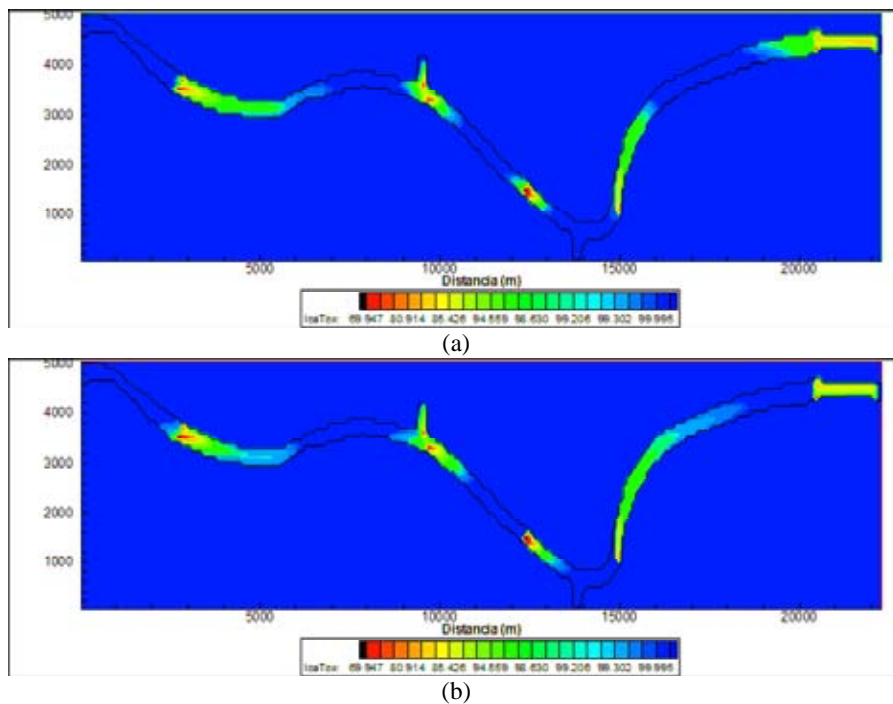


metales incluidos en el ICATOX son: Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Vanadio y Zinc. se obtuvieron los siguientes resultados.

El uso de estas herramientas permite realizar las interpretaciones espacio temporales de las condiciones del sistema. Es importante recalcar que cuando las características del sistema son discontinuas, la utilidad de éstas es relevante...

En las siguientes figuras, se muestran los escenarios generados utilizando el modelo anteriormente mencionado, para diferentes temporadas y tiempos de corrida del modelo. Estos resultados permiten realizar una descripción espacio temporal del sistema y sustentar las recomendaciones y/o medidas de mitigación correspondientes.

*Escenario 1 Pánuco: época de secas, nivel superficial*



**Figura 19 Simulación ICATOX en secas a nivel superficie: (a) 3 días, (b) 12 días**

Escenario 1 pánuco: época de secas, nivel mezcla

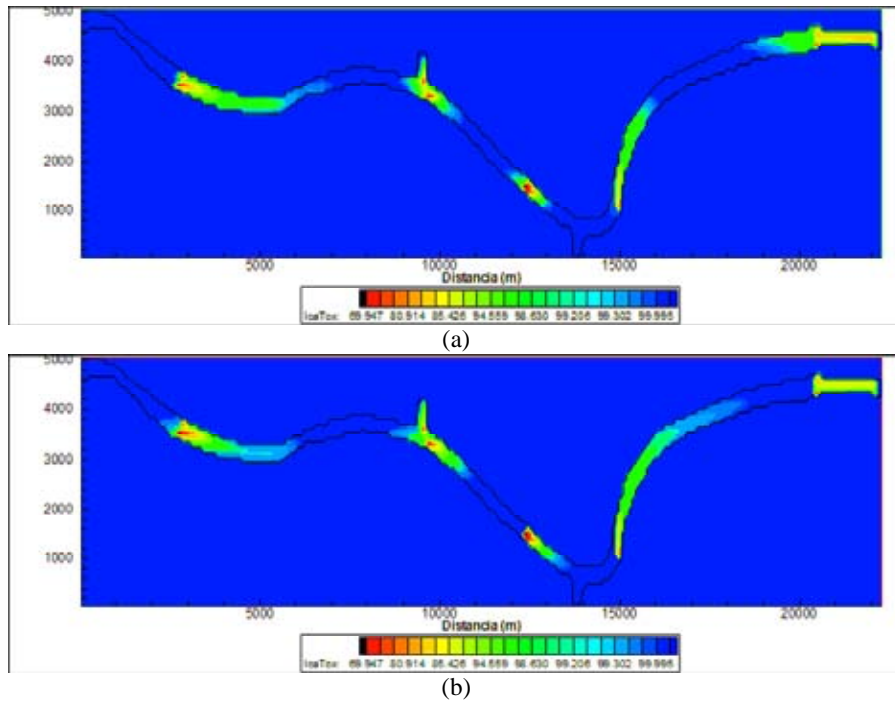


Figura 20 Simulación ICATOX en secas a nivel mezcla: (a) 3 días, (b) 12 días

Escenario 1 Pánuco: época de secas, nivel fondo

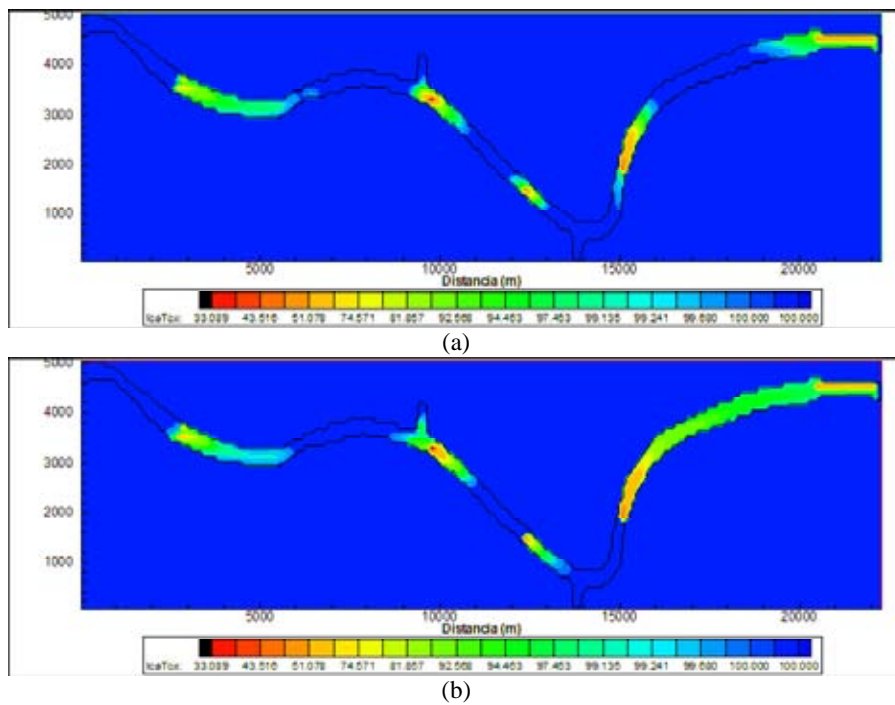
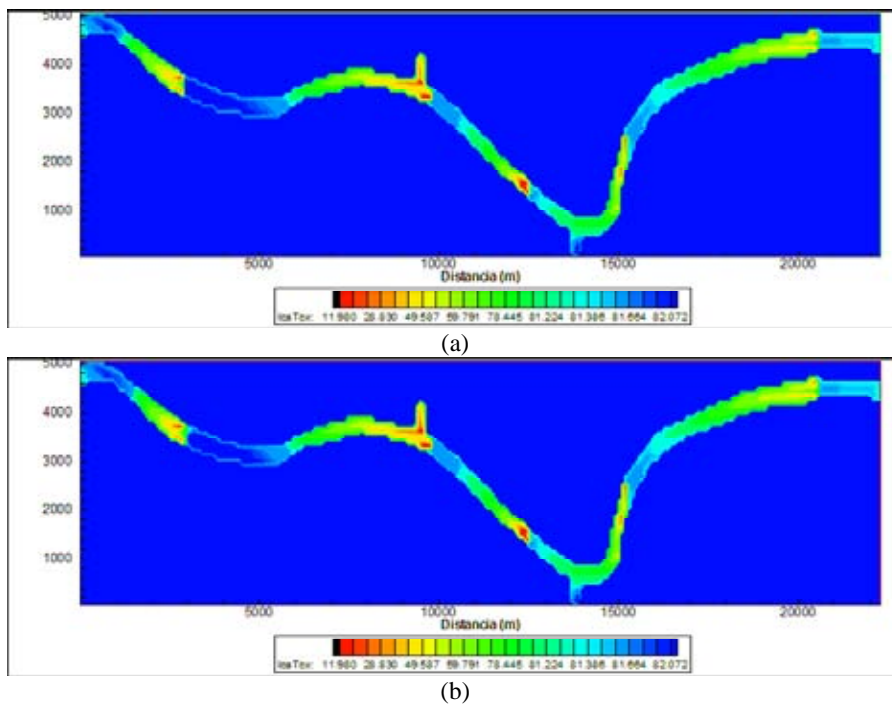


Figura 21 Simulación ICATOX en secas a nivel fondo: (a) 3 días, (b) 12 días

*Escenario 2 Pánuco: época de lluvias, nivel superficie*



**Figura 22 Simulación ICATOX en lluvias a nivel superficie: (a) 3 días, (b) 12 días**

## **Discusión**

Los requerimientos energéticos, cada día mas demandantes, han favorecido un uso intensivo de los sistemas ambientales, dando como resultado cambios importantes en la vocación natural de los mismos, esto debido fundamentalmente al desarrollo de grandes asentamientos urbanos e industriales, la necesidad de incrementar la producción agroalimentaria, la ganadería y las necesidades de transporte asociadas a estos asentamientos.

Este uso desmedido, en la mayoría de los casos, sin una planeación adecuada a mediano y largo plazo, ha provocado un detrimento importante de la salud de los ecosistemas y el consecuente riesgo a la salud humana, fundamentalmente por un manejo inadecuado de los residuos peligrosos y no peligrosos. Cuyo volumen generado se incrementa día a día, sólo entre 1986 y 1995, se triplico el volumen generado de residuos en México de 2.5 a 7.4 millones de toneladas anuales, aunado lo anterior con un manejo integral (generación transporte y disposición) inadecuado, entre otras cosas por la falta de una normatividad rígida, hasta hace apenas dos años entro en vigor la Ley General para la Gestión de Residuos -19 de junio de 2007- (LGPGIR, 2007) la falta de personal capacitado en el manejo de residuos, la falta de laboratorios certificados y suficientes sitios para su disposición final.

Lo anterior ha dado como resultado, que la atención a los pasivos ambientales en el país, requiera cuantiosas sumas de dinero para su atención. Sólo Petróleos Mexicanos proyecto para el 2006, 3,500 millones de pesos (Reporte SEC, 2005), sin considerar que por accidentes, derrames, atentados y hallazgos de auditorias ambientales, el inventario no disminuye como se esperaba.

Adicionalmente, aun considerando los esfuerzos que se hacen para la atención a pasivos ambientales, actualmente prevalece una cultura correctiva, y la migración al cambio cultural preventivo ha sido lento, debido a las cuantiosas inversiones asociadas a la implantación de procesos y tecnologías limpias, más amigables con el ambiente.

Por otro lado, los estudios de impacto ambiental normados en México, se han enfocado a la identificación de los efectos ambientales adversos de nuevas obras o modificaciones a obras preexistentes, identificando medidas de mitigación para ellos, y a partir de estas, dar seguimiento. Estas practicas no necesariamente representan la mejor forma de atender al medio ambiente, ya que, ha sido reconocida, la dificultad de integral la información científica generada, sólo en los casos de manifiestos de impacto ambiental modalidad especifica, al conocimiento científico de los sitios, dado que la información es generada a diferentes escalas, parte de ella a nivel de cuenca y subcuenca y otra a nivel de sitio.

Por lo que, desde el 2004, la comunidad europea ha instrumentado y legislado la Evaluación Ambiental Estratégica, con el objetivo de incorporar los fenómenos naturales y la información científica del sitio a la planeación del proyecto, generando a partir de bases de datos robustas la identificación de parámetros indicadores y los subsecuentes índices e indicadores que permitan dar seguimiento al proyecto y sustenten los planes de desarrollo territorial (Marrul, 2005).

El contar con información científica centralizada en sistemas de administración integral de información ambiental sustentará una buena gestión ambiental, del sector industrial, gobiernos municipales, estatales y federales, así como la participación de la sociedad. Incrementará el ciclo de vida de la información generada en los estudios ambientales, su disponibilidad y consistencia, haciendo más rentable la inversión que éstos representan. Además de representar una fuente invaluable de información propia para los ambientes mexicanos, sustituyendo así gradualmente los patrones de referencia usados actualmente, que en la mayoría de los casos son representativos de otras condiciones ambientales.

Adicionalmente, en la medida que estos sistemas se robustezcan sustentarán la generación de líneas base para ambientes específicos nacionales y la posibilidad de generar e integrar información ecotoxicológica para organismos nativos y la consecuente valoración de riesgo ecológico y a la salud con información propia de nuestras condiciones ambientales.

Por lo anterior, es clara la inminente necesidad de crear cuerpos colegiados, que con un poco de la inversión usada para la atención a pasivos ambientales, podrían generar información coherente y sistemática, como una solución para minimizar el efecto adverso generado por la falta de información ambiental estratégica.

## **Conclusiones**

Dada la problemática en el manejo de residuos, así como la falta de infraestructura y personal capacitado suficiente para atender la demanda en este rubro, permite concluir que es necesario optimizar los recursos con estudios que generen la información suficiente y adecuada para sustentar los planes de manejo en función de los riesgos potenciales y reales de acuerdo a referencias propias de nuestras condiciones ambientales.

Por la carencia de un documento rector que defina los métodos y procedimientos para realizar evaluaciones ambientales con un enfoque integral y sistémico, se puede concluir que es un requerimiento inminente para el país el formar grupos colegiados que desarrollen, avalen y formen recursos humanos, para poder realizar este tipo de estudios con un enfoque ambiental estratégico.

Estos grupos colegiados, con la participación de expertos de diferentes especialidades ambientales, podrán definir los criterios base y protocolos para la generación e interpretación adecuada de indicadores e índices ambientales propios para nuestros sistemas, lo que permitirá dar un seguimiento adecuado de su evolución y sustenten planes de desarrollo territorial.

El contar con este tipo de documentos permitirá reducir los tiempos y optimizar el uso de recursos económicos, además de incrementar el conocimiento de nuestros sistemas a escalas específicas como serían aquellas a nivel de localidad. Lo que conformaría el desarrollo de líneas base ambientales a este grado de resolución.

Por último, es importante desarrollar un sistema de administración de información ambiental que centralice la información técnica generada por los estudios, en un ambiente georeferenciado, la normatividad ambiental, los métodos y técnicas de laboratorio y campo, asimismo los compromisos derivados con la autoridad ambiental debido a problemas de contaminación ambiental, la forma acordada para atenderlos y los compromisos consensados para su remediación y/o mitigación de sus efectos adversos en el ambiente

## **Referencias**

- 1 APHA, AWWA, WPCF. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, D. C. 16 th ed.
- 2 Autoridad Nacional del Ambiente. (2000). Informe sobre los indicadores ambientales y de la Sustentabilidad en América Latina y el Caribe. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.anam.gob.pa/informe\\_sobre\\_los\\_indicadores/informe\\_sobre\\_los\\_indicadores\\_am.htm](http://www.anam.gob.pa/informe_sobre_los_indicadores/informe_sobre_los_indicadores_am.htm). [Consulta: 2002, Julio,12]
- 3 Bahena, J., 1999. Evaluación espacial y temporal de metales pesados en sedimentos de la parte baja del Río Coatzacoalcos, México. Tesis de Maestría, Instituto de Ingeniería, UNAM. México, 117 pp.
- 4 Díaz-Barriga, F., (1996) Los residuos peligrosos en México. Evaluación del riesgo para la salud. Salud Pública de México. No. 38, Págs. 280-291.
- 5 EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1997. Ecological risk assessment guidance for superfund: process for designing and conducting ecological risk assessment, interim final. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Response Team, Edison, N.J.
- 6 EPA. 1996. Proposed Guidelines for Ecological Risk Assessment. Risk Assessment Forum. US Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- 7 García-Figueroa, E. y Flores , M. A. 1983. Estudio de Hidrocarburos Totales en Agua de Mar de la Sonda de Campeche. Rev. I.M.P. 15(4): 101-106.
- 8 Holme, N. A. & McIntyre, A. D. eds. 1971. Methods for the study of marine benthos. IBP Handbook 16 Oxford: Blackwell Scientific Publications, 334 pp.
- 9 IMP, 2006. "Caracterización de Medio Acuático Marino Adyacente al Derrame de Combustóleo En Un Ducto De 20" en el jardín Álvaro Obregón, Manzanillo, Colima" Informe Final, F.21419, México.
- 10 Islao, C.J.P., 2004. "Modelación numérica e indicadores de sensibilidad ambiental. Aplicación a la desembocadura del Río Pánuco". Tesis Maestría en Ciencias. ESIA Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. 216 pp
- 11 LFSMN,2006. Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Última reforma publicada DOF 28-07-2006. Diario Oficial. México

- 12 LGEEPA 2008, Ley General del Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada DOF 16-05-2008. Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación. México
- 13 LGPGIR, 2007. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003 - texto vigente. Última reforma publicada DOF 19-06-2007. México
- 14 Marull, J. 2005. Metodologías paramétricas para la evaluación ambiental estratégica. Ecosistemas 14 (2): 97-108. España.(<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=99>)
- 15 Marull, J. y J.M. Mallarach. 2002. La conectividad ecológica en el Área Metropolitana de Barcelona. Ecosistemas, 11 (2). <http://www.aeet.org/ecosistemas/022/investigacion6.htm.Mallarach, 2002>
- 16 NOM-014-SSA1-1993. NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-014-SSA1-1993 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados". México
- 17 Petróleos Mexicanos, 2005. Form 20-F, Annual Report Pursuant to Section 13 or 15(d) of the Securities Exchange Act of 1934. México, D.F.
- 18 Preston, B. 2002. "Hazard prioritization in ecological risk assessment through spatial analysis of toxicant gradients". Environmental Pollution. vol. 117. U.S.A. pp. 431-435
- 19 Schwoerbel, J. 1970. Methods of Hydrobiology. Pergamon Press. Canada.
- 20 SEMARNAT. Importancia de la Evaluación de los Riesgos de las Sustancias Peligrosas para Definir Políticas y Establecer Prioridades de Acción. [en línea]. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/materiales/evaluacion.pdf>
- 21 Suter, G.W.II., 1997. A framework for Assessing Ecological Risks of Petroleum-Derived Materials in soils. ORNL/TM-13408. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.
- 22 Tranter, D. J. (Ed). 1968. Reviews on Zooplankton Sampling Methods. United Nations Educational Scientific and Cultural Org. Zwitterland.
- 23 USEPA, 1992. Report on the Ecological Risk Assessment Guidelines Strategic Planning Workshop. Washington, DC (USA). Held in Miami, Florida on April 30-May 2, 1991. Environmental Protection Agency, Washington, DC (USA). Risk



**Tesis de Maestría en Ciencias especialidad en Ecología y Ciencias Ambientales  
Evaluación del impacto en ambientes acuáticos relacionados con la industria petrolera**

Assessment Forum. Ecological Risk Assessment Guidelines Strategic Planning Workshop, Miami, FL (USA), 30 Apr-2 May 1991. ECOL. RES. SER. U.S. ENVIRON. PROT. AGENCY., 1992, 76 pp. NTIS Order No.: PB93-102200/GAR. EPA/630/R-92/002.

- 24 Wikipedia. Evaluación ambiental. [en línea]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Evaluaci%C3%B3n\\_ambiental](http://es.wikipedia.org/wiki/Evaluaci%C3%B3n_ambiental)