



**El Colegio
de la Frontera
Norte**



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

**ANÁLISIS RETROSPECTIVO DEL IMPACTO
AMBIENTAL EN RECINTOS PORTUARIOS: EL CASO
DE LOS PUERTOS MARÍTIMOS DE ENSENADA Y
SAUZAL DE RODRÍGUEZ, B. C., MÉXICO**

Aprobada por el jurado Tesis presentada por

Carlos Andrés Rodríguez Perafán

Nombre y Firma

Carlos Andrés Rodríguez Perafán

para obtener el grado de

Nombre y Firma

**MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL
DEL AMBIENTE**

Nombre y Firma

Carlos Francisco Reynador Sánchez

**TIJUANA, B. C.
2006**

033652


COLECCIÓN BIBLIOTECA

DEDICATORIA

CONSTANCIA DE APROBACIÓN Antonio

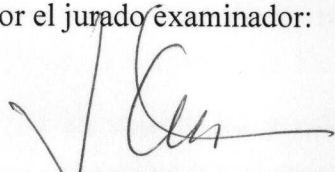
A mis hermanos, María Isabel y Adrián Esteban

A todos ellos, por su infinito amor y apoyo...

Director de Tesis: 

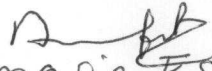
Dra. Anamaria Escofet Giansone

Aprobada por el jurado examinador:

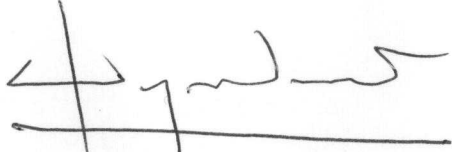
1.- 

Nombre y Firma

Ori Luis Castro Ruiz

2.- 
Anamaria Escofet Giansone

Nombre y Firma

3.- 
CARLOS FRANCISCO PEYNADOR SÁNCHEZ

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

Al Colegio de la Frontera Norte, por su invaluable contribución a mi formación académica.

A mi directora de tesis, la Dra. **Agustina Dora Cisneros**, por su tiempo, dedicación, y singular esfuerzo para transmitir el conocimiento y promover el desarrollo de aptitudes profesionales. Asimismo, por su invaluable orientación y apoyo durante mi estancia en la ciudad de Ensenada.

A mis padres, María Eugenia y Henry Antonio

A mis hermanos, María Isabel y Adrián Esteban

A todos ellos, por su infinito amor y apoyo...

Al Dr. José Luis Castro Ruiz y el M.C. Carlos Peynador Sánchez, por sus acertados comentarios y sugerencias que permitieron llevar a feliz término este estudio. Especial agradecimiento al segundo de ellos, por su tiempo y buena disposición de trabajo.

A Marina Mondragón Rojas, por su amistad e imprescindible ayuda en todo el trámite de los pormenores de esta tesis.

A todos mis compañeros de clase, por su gentileza. Un reconocimiento especial, a aquellos que me brindaron su más sincera amistad dando inmejorable muestra de ello cada vez que fue posible.

A todos aquellos que por su amabilidad y calor humano, hicieron más llevaderos mis días difíciles durante el proceso de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de la Frontera Norte, por su invaluable contribución a mi formación académica.

A mi directora de tesis, la Dra. Anamaría Escofet Giansone, por su tiempo, dedicación, y singular esfuerzo para transmitir el conocimiento y promover el desarrollo de aptitudes profesionales. Asimismo, por su incuestionable generosidad, y hospitalidad brindada durante mi estancia en la ciudad de Ensenada.

Al Dr. José Luis Castro Ruiz y el M.C. Carlos Peynador Sánchez, por sus acertados comentarios y sugerencias que permitieron llevar a feliz término este estudio. Especial agradecimiento al segundo de ellos, por su tiempo y buena disposición de trabajo.

A Marina Mondragón Rojas, por su amistad e imprescindible ayuda en todo el trámite de los pormenores de esta tesis.

A todos mis compañeros de clase, por su gentileza. Un reconocimiento especial, a aquellos que me brindaron su más sincera amistad dando inmejorable muestra de ello cada vez que fue posible.

A todos aquellos que por su amabilidad y calor humano, hicieron más llevaderos mis días difíciles durante el proceso de estudio.

RESUMEN. Para contribuir al conocimiento integral de los cuerpos costeros se realizó un análisis de impacto acumulativo en los puertos marítimos de Ensenada y Sauzal de Rodríguez (B.C., México). El análisis de Impactos y sus Causas mostró que para cualquier impacto considerado (contaminación orgánica, metales pesados) existe un conjunto de causas internas y externas. Los análisis de contorno y de curvilinearidad, aplicados para evaluar la conformación del perímetro interno como posible causa coadyuvante en la permanencia de los contaminantes recibidos, mostró que el contacto de la interfase sólido-líquido evolucionó de una forma ligeramente cóncava a una fuertemente festoneada, y que el perímetro interno ha aumentado 211.3 % durante el desarrollo histórico del puerto. El despliegue simultáneo de los rasgos del puerto, su entorno, y la normatividad ambiental, mostró que las actividades generadoras de impacto son muy anteriores a cualquier normatividad, y que aun existiendo la misma, existen actividades que aparentemente se consideraron menores y no se sujetaron a la misma. Se muestra que los datos generados con el método de *Impactos y sus Causas* pueden ser equiparados en un modelo PER, en lo que hace a Impactos-Estado, Evidencias Clave de Impactos-Indicadores de Estado, y Causas-Presión. La no equivalencia de los compartimentos Fuerzas Forzantes y Respuestas, del modelo PER, muestran la complementariedad de ambos métodos. La proyección de resultados a la instalación de un nuevo puerto en Punta Colonet, tomando como base los cálculos sobre la complejización geomorfológica del perímetro interno, sugieren que para el diseño de nuevos puertos es conveniente modelar no sólo las condiciones del diseño inicial sino que deben realizarse nuevos modelados hidrodinámicos para cada adición de estructuras, a fin de detectar inflexiones críticas en la hidrodinámica que puedan disparar el azolvamiento.

4.3	Impacto acumulativo	20
4.3.1	Definición	20
4.3.2	Origen y evolución del análisis de impacto acumulativo	22
5	MÉTODOS	24
5.1	Impactos y sus causas	25
5.2	Evolución del perímetro interno del puerto de Ensenada	26
5.3	Secuencia histórica de normas ambientales	30
5.4	Análisis de acuerdo a los principios de impacto acumulativo, y en términos de modelos ambientales generales	30
5.5	Proyección de resultados en términos del desarrollo costero sustentable	31

INDICE 32

1. **INTRODUCCIÓN** 1

2. **OBJETIVOS** 2

 2.1. General 2

 2.2. Específicos 2

3. **ANTECEDENTES** 3

 3.1. Impactos ambientales acumulativos en puertos 3

 3.2. La condición ambiental en los puertos de Ensenada y Sauzal de Rodríguez 3

 3.2.1. Lizárraga-Partida (1973) 4

 3.2.2. Flores-Vidal et al. (2004) 4

 3.2.3. Carreón-Martínez et al. (2001) 4

 3.2.4. Carreón-Martínez et al. (2002) 5

 3.3. La condición ambiental de los puertos en el contexto de la Bahía de Todos Santos 7

 3.4. Los puertos en el marco del desarrollo costero sustentable 11

 3.5. Diagnóstico orientado al manejo 16

 3.6. Mejoramiento ambiental 16

4. **MARCO CONCEPTUAL** 18

 4.1. Objetivos de los puertos, componentes esenciales de los mismos, y condición ambiental 18

 4.2. Definición de recinto portuario 20

 4.3. El impacto acumulativo 20

 4.3.1. Definición 20

 4.3.2. Origen y evolución del análisis de impacto acumulativo 22

5. **MÉTODOS** 25

 5.1. Impactos y sus causas 25

 5.2. Evolución del perímetro interno del puerto de Ensenada 26

 5.3. Secuencia histórica de normas ambientales 30

 5.4. Análisis de acuerdo a los principios de impacto acumulativo, y en términos de modelos ambientales generales 30

 5.5. Proyección de resultados en términos del desarrollo costero sustentable 31

6.	RESULTADOS	32
6.1.-	Impactos y sus causas.....	32
6.1.1.	Puerto de Ensenada.....	32
6.1.2.	Puerto el Sauzal.....	33
6.1.3.	El puerto de Ensenada como generador de impacto hacia la bahía, y como receptor de impactos proveniente de la misma.....	34
6.2.-	Evolución del perímetro interno del puerto de Ensenada.....	35
6.2.1.	Análisis de Contorno.....	36
6.2.2.	Análisis de Curvilinearidad.....	36
6.3.	Síntesis del desarrollo histórico del puerto de Ensenada, su entorno, y la normatividad ambiental.....	38
6.4.	Los resultados en términos de modelos ambientales generales: modelo per.....	46
6.5.	Proyección de resultados: instalación de un nuevo puerto en Punta Colonet.....	47
7.	DISCUSION	49
7.1.	Análisis de contorno.....	49
7.2.	Análisis de impactos y sus causas.....	50
7.3.	Equivalencia con el modelo PER.....	52
7.4.	Despliegue simultáneo de los rasgos del puerto, su entorno, y la normatividad ambiental.....	52
8.	CONCLUSIONES	53
9.	REFERENCIAS CITADAS	55
	ANEXO FOTOGRÁFICO	78
	portuaria (a partir de tabla VII, Arredondo-García, 1995).	63
	Figura 11. Síntesis de relaciones causales de impactos en el Puerto de Ensenada.	64
	Figura 12. Puerto del Sauzal de Rodríguez: Red causal de contaminación orgánica de agua y sedimentos (con base en Flores-Vidal <i>et al.</i> , 2004 y citas contenidas).	65
	Figura 13. El puerto de Ensenada como generador de impacto hacia la bahía: representación espacial del trabajo de Gámiz-Ramírez (1997) reforzado por los datos de Carreón-Martínez <i>et al.</i> (2001 y 2002).	66

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Impacto acumulativo para los parámetros incremento de la erosión en un sistema de cuenca y sedimentación en un sistema de estuario (tomado de Sorensen, y West, 1992). ...21
- Figura 2. Correspondencia entre Evaluaciones de Impacto Ambiental (recuadro punteado), Análisis de Impacto Acumulativo (línea quebrada), Análisis Retrospectivo (línea quebrada y puntos) y Modelo de Presión-Estado-Respuesta (línea quebrada gruesa) (tomado de Escofet, 2006).23
- Figura 3. Puerto de Ensenada: ubicación espacial de causas de impactos ambientales.27
- Figura 4. Selección de tres aerofotografías y una imagen satelital, para ilustrar la evolución del perímetro del puerto de Ensenada, B.C. (a partir de Sepúlveda-Núñez, 2003).28
- Figura 5. Esquemas teóricos análisis de contorno (a) y de curvilinearidad (b).30
- Figura 6. Puerto de Ensenada: Red causal de la contaminación orgánica de los sedimentos (a partir de Lizárraga-Partida, 1973).59
- Figura 7. Puerto de Ensenada: Red causal de la contaminación orgánica de los sedimentos (a partir de Donath-Hernández y Loya-Salinas, 1989).60
- Figura 8. Puerto de Ensenada: Red causal de la contaminación fecal en sedimentos superficiales (a partir de Orozco- Borbón y Delgadillo-Hinojosa, 1989).61
- Figura 9. Puerto de Ensenada: Red causal de la contaminación de sedimentos superficiales por metales pesados y compuestos organoestañados (a partir de Romero, 1995, y Macías, 1996; citados por Gámiz-Ramírez, 1997).62
- Figura 10. Puerto de Ensenada: Red causal de principales contaminantes vertidos en la rada portuaria (a partir de tabla VII, Arredondo-García, 1995).63
- Figura 11. Síntesis de relaciones causales de impactos en el Puerto de Ensenada.64
- Figura 12. Puerto del Sauzal de Rodríguez: Red causal de contaminación orgánica de agua y sedimentos (con base en Flores-Vidal *et al.*, 2004 y citas contenidas).65
- Figura 13. El puerto de Ensenada como generador de impacto hacia la bahía: representación espacial del trabajo de Gámiz-Ramírez (1997) reforzado por los datos de Carreón-Martínez *et al.* (2001 y 2002).66

Figura 14. El puerto de Ensenada como receptor de impactos provenientes de la bahía: acumulación de anchoveta muerta, octubre de 2005 (datos de campo superpuestos a fotografía aérea a color, tomada por Botello, 2005).	67
Figura 15. Puerto de Ensenada como receptor de impactos provenientes de la bahía: tormenta extraordinaria, diciembre 2005 (datos de El Vigía 23/12/05, superpuestos a fotografía aérea a color, tomada por Botello, 2005).	68
Figura 16. Evolución del perímetro interno del Puerto de Ensenada: análisis de contorno.	69
Figura 17. Evolución del perímetro interno del Puerto de Ensenada: análisis de curvilinearidad.	70
Figura 18. Desarrollo del puerto de Ensenada y su entorno (a partir de fig.42, Sepúlveda-Núñez, 2003 y fotografía aérea a color, tomada por Botello, 2005).	72
Figura 19. Los resultados en términos de modelos ambientales generales: modelo PER.	73
Figura 20. Principales resultados del trabajo de Czitrom <i>et al.</i> (2003), mostrando que el efecto de la limpieza de las mareas en el puerto de Ensenada está restringido a la sección sur del mismo.	74
Figura 21. Correspondencia entre la configuración portuaria del 2001 presentada en esta tesis, y la configuración del puerto considerada en el trabajo de Czitrom <i>et al.</i> (2003), e imágenes retrospectivas del puerto para años con una configuración interna menor.	75
Figura 22. Extrapolación de los resultados del trabajo de Czitrom <i>et al.</i> (2003) a escenarios portuarios de menor complejidad.	76
Figura 23. El producto de la extrapolación de los resultados del trabajo de Czitrom <i>et al.</i> (2003) a escenarios portuarios de menor complejidad.	77

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Matriz de Debilidades Oportunidades Fortalezas y Amenazas (DOFA), de las ACIS ..	15
Tabla II. Análisis de curvilinearidad del puerto de Ensenada.....	37
Tabla III. Secuencia histórica de las normas ambientales	38
Tabla IV. Desarrollo histórico del puerto de Ensenada, su entorno, y la normatividad ambiental	41

existe una tendencia creciente a reconsiderar las actividades portuarias, y adecuarlas a nuevos criterios ambientales (Fawcett *et al.*, 1991; Darbra *et al.*, 2004). A esos efectos, importa conocer como se fueron instalando los impactos, e identificar sus causas, a fin de plantear programas de adecuación efectivos o evitar futuras acciones impactantes (Salles, 2003).

El análisis de impacto acumulativo permite recuperar la secuencia histórica de los eventos causantes de impacto, y permite analizarla comparativamente con la evolución de la normatividad ambiental. Siendo la normatividad ambiental relativamente reciente en la mayoría de los países, en gran parte de los casos se encuentra que las actividades generadoras de impactos se establecieron antes de que hubiera regulaciones al respecto. También se encuentran casos en que aun existiendo normatividad ambiental, las actividades generadoras de impactos no se visualizaron como importantes en su momento (Sorensen y West, 1992).

En este trabajo, para contribuir al conocimiento integral de los cuerpos costeros, se realizó un análisis de impacto acumulativo en los puertos de Ensenada y Saizal de Rodríguez (B.C., México). Se revisan los impactos y sus causas, se analiza la evolución del perímetro interno como posible coadyuvante de impactos, se sintetiza el desarrollo histórico del puerto, su entorno, y la normatividad ambiental, y se proyectan los resultados a la instalación de un nuevo puerto

1. INTRODUCCIÓN

En un contexto de zona costera, los puertos marítimos son un escenario particular, ya que el aprovechamiento creciente de la zona costera para usos múltiples hace necesario disminuir los impactos en cada uno de sus escenarios. Aunque se acepta que la misma existencia de un puerto, así como cualquier expansión de sus instalaciones, implica una cierta pérdida de hábitat y una serie de impactos al agua, aire y atmósfera (Carpenter y Maragos, 1989; Darbra *et al.*, 2004), existe una tendencia creciente a reconsiderar las actividades portuarias, y adecuarlas a nuevos criterios ambientales (Fawcet *et al.*, 1991; Darbra *et al.*, 2004). A esos efectos, importa conocer como se fueron instalando los impactos, e identificar sus causas, a fin de plantear programas de adecuación efectivos o evitar futuras acciones impactantes (Salles, 2003).

El análisis de impacto acumulativo permite recuperar la secuencia histórica de los eventos causantes de impacto, y permite analizarla comparativamente con la evolución de la normatividad ambiental. Siendo la normatividad ambiental relativamente reciente en la mayoría de los países, en gran parte de los casos se encuentra que las actividades generadoras de impactos se establecieron antes de que hubiera regulaciones al respecto. También se encuentran casos en que aun existiendo normatividad ambiental, las actividades generadoras de impactos no se visualizaron como importantes en su momento (Sorensen y West, 1992).

En este trabajo, para contribuir al conocimiento integral de los cuerpos costeros, se realizó un análisis de impacto acumulativo en los puertos de Ensenada y Sauzal de Rodríguez (B.C., México). Se revisan los impactos y sus causas, se analiza la evolución del perímetro interno como posible coadyuvante de impactos, se sintetiza el desarrollo histórico del puerto, su entorno, y la normatividad ambiental, y se proyectan los resultados a la instalación de un nuevo puerto.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Aplicar el método de impacto acumulativo a los recintos portuarios de Ensenada y Sauzal de Rodríguez.

2.2. ESPECÍFICOS

2.2.1. Identificar los principales impactos en los recintos portuarios de Ensenada y Sauzal de Rodríguez.

2.2.2. Rastrear las causas, en tiempo y espacio, de los principales impactos identificados.

2.2.3. Rastrear la secuencia histórica de las normas ambientales aplicables a las actividades generadoras de impactos identificados anteriormente.

2.2.4. Analizar lo anterior de acuerdo con los principios de impacto acumulativo.

2.2.5. Analizar lo anterior en términos de modelos ambientales generales, como lo es el modelo Presión - Estado - Respuesta.

2.2.6. Sintetizar los resultados en términos de proyecciones para el desarrollo costero sustentable a nivel regional.

3.2. LA CONDICIÓN AMBIENTAL EN LOS PUERTOS DE ENSENADA Y SAUZAL DE RODRIGUEZ

Este inciso presenta estudios que fueron realizados en el interior de alguno de los puertos. Dos de ellos (Lizárraga-Partida, 1973; Fierca-Vidal, 2004) presentan todos los rasgos que permiten aplicar el método de impactos y sus causas, ya que describen la problemática ambiental, indican sus posibles causas, y contienen evidencias clave de los impactos. Los otros dos trabajos

3. ANTECEDENTES

3.1. IMPACTOS AMBIENTALES ACUMULATIVOS EN PUERTOS

El estudio realizado por Xue *et al.* (2004) es un trabajo pionero en la aplicación del método de impacto acumulativo en puertos. En dicho estudio, los autores examinan la evaluación de impactos ambientales acumulativos y la implementación de la administración integrada costera en el puerto de Xiamen, China, una región urbana en donde la zona costera está en creciente presión como resultado del crecimiento económico. El análisis de impactos acumulativos incluyó la evaluación de fuentes de impactos ambientales que surgen de cada actividad costera relevante. Asimismo, tomó una aproximación ecológica, centrada en los elementos físicos, químicos y biológicos del ecosistema costero, enfocado en 1) circulación y asolvamiento (reducción en la circulación y aumento del tiempo de residencia por cambios geomorfológicos del entorno), 2) calidad del agua (ingreso de residuos domésticos), 3) sedimentos (presencia de contaminantes en los fondos), 4) la comunidad bentónica (cambios en la composición de especies), y 5) bosques de mangle (destrucción a gran escala). Estas categorías de impactos acumulativos son evaluadas a través de indicadores claves y un uso de indicadores claves, surgidos del conjunto de actividades humanas. El análisis de la administración integrada costera, describe y evalúa el desarrollo de una estructura institucional para ejercer gobernancia en la zona costera de Xiamen, misma que combina política y planificación (incluyendo lo legislativo y la aplicación de mecanismos) con lo científico y mecanismos de monitoreo.

3.2. LA CONDICIÓN AMBIENTAL EN LOS PUERTOS DE ENSENADA Y SAUZAL DE RODRÍGUEZ

Este inciso presenta estudios que fueron realizados en el interior de alguno de los puertos. Dos de ellos (Lizárraga-Partida, 1973; Flores-Vidal, 2004) presentan todos los rasgos que permiten aplicar el método de impactos y sus causas, ya que describen la problemática ambiental, indican sus posibles causas, y contienen evidencias clave de los impactos. Los otros dos trabajos

(Carreón-Martínez *et al.*, 2001 y 2002) describen la condición ambiental del puerto de Ensenada en modo muy actualizado, y permiten corroborar alguna de las causas.

3.2.1. Lizárraga-Partida (1973)

Este trabajo es el primero que documentó la contaminación en la rada portuaria del puerto de Ensenada. En él describen impactos por contaminación orgánica en sedimentos, usando como indicadores clave la composición de la fauna de poliquetos bentónicos. Los resultados definen cinco grados de contaminación de fondo en la rada portuaria, de los cuales el más afectado presenta una zona abiótica, desprovista de todo vestigio de vida macroscópica.

3.2.2. Flores-Vidal et al. (2004)

Este trabajo resume una serie de trabajos previos (Rivera, 1984; Segovia-Zavala *et al.*, 1988; Núñez, 1994; Flores *et al.*, 2003) que documentan la contaminación orgánica en el puerto del Sauzal. Se identifican dos zonas vulnerables a la contaminación: una en el extremo noroeste del puerto, la zona más expuesta a descargas de sanguaza y desechos orgánicos de los barcos pesqueros; y otra en la porción central de la dársena, donde materia orgánica posiblemente aportada por la Pesquera del Pacífico, ha permanecido acumulada durante años.

3.2.3. Carreón-Martínez et al. (2001)

Este trabajo evalúa concentraciones de mercurio y plata en sedimentos del puerto de Ensenada. Los resultados presentan importancia por las implicaciones ambientales debidas a la removilización de sedimentos y el subsiguiente cambio de las condiciones de oxidación-reducción que siguen a la disposición del material de dragado en la BTS. Esto último relacionado con la posible liberación de sedimentos cubiertos por metales tóxicos hacia formas biodisponibles. Las concentraciones de Hg y Ag asociadas con pirita estuvieron en el rango de $<0.13-1.0 \text{ nmol g}^{-1}$ (valores promedio de $0.48 \pm 0.19 \text{ nmol g}^{-1}$) y de $1.3-6.5 \text{ nmol g}^{-1}$ (valores

promedio $4.4 \pm 1.1 \text{ nmol g}^{-1}$), respectivamente. Estos resultados revelaron la importancia de la pirita como reservorio de estos dos metales en los sedimentos del puerto.

Las implicaciones de los resultados de Hg y Ag presentan importancia desde el punto de vista del ambiente, al asumir una situación en que los sedimentos del puerto sean transferidos a una zona de alta energía, a un ambiente marino óxico, donde importantes concentraciones de estos dos metales (asociados con la pirita) puedan ser liberadas como resultado del cambio en las condiciones redox. Los metales recién liberados pueden estar en libertad para retornar a los sedimentos o a la columna de agua, debido a que la pirita adjunta en los sedimentos trasladados está oxidadamente disuelta.

Asumiendo que $150\,000\text{--}300\,000 \text{ m}^3$ de sedimentos son dragados regularmente en el puerto, con un promedio de densidad en los sedimentos de 2.6 g cm^3 , y usando el promedio de concentraciones de Hg y Ag asociado a pirita, se calculó la cantidad aproximada de Hg y Ag que puede potencialmente ser disuelta después de cada operación de dragado: 38 ± 15 a $76 \pm 30 \text{ Kg.}$ y 200 ± 46 a $400 \pm 92 \text{ Kg.}$, respectivamente. De esta forma, se prevé que una mayor cantidad de Hg y Ag pueden ser liberados como consecuencia del incremento de los volúmenes de dragado producidos por las futuras ampliaciones de las facilidades portuarias.

3.2.4. Carreón-Martínez et al. (2002)

Este trabajo analiza la distribución de plata y mercurio reactivo en sedimentos del puerto de Ensenada. En general, se reconoce que la Ag antropogénica es introducida al ambiente acuático principalmente por descargas de aguas residuales, mientras que el Hg es introducido principalmente por depositación atmosférica, y descargas industriales. Las concentraciones de estos metales en los sedimentos del puerto, son importantes desde el punto de vista del ambiente al preverse un escenario en el que los sedimentos pueden ser exportados de los puertos al océano

abierto por medio del dragado. Se reconoce que la plata y el mercurio, junto con el cobre, son los elementos más tóxicos para invertebrados y algas en ecosistemas estuarinos y marinos.

Los metales tienden a acumularse en el puerto porque: 1) esta es una zona de baja energía en la que el grano fino de los sedimentos tiende a acumularse y, debido a su amplia área de superficie, también tiende a incorporar altas concentraciones de trazas de metales; 2) esta es la zona de descarga de las aguas residuales urbanas que son vertidas a través del Arroyo el Gallo, especialmente durante la estación de lluvias de invierno; 3) los barcos atracados en el puerto también contribuyen a la contaminación por metales; y 4) existen muelles secos al interior del puerto, dedicados al mantenimiento de la pintura antiincrustante del casco de los barcos.

Las concentraciones de Hg han permanecido bastante constantes con los sedimentos del fondo, fluctuando alrededor de un valor promedio de $0.58 \pm 0.23 \text{ nmol g}^{-1}$. Sin embargo, variaciones relativamente grandes en concentraciones también se presentan, con valores que van de 0.10 (19-20 cm) a 1.3 nmol g^{-1} (16-17 cm). Estos resultados sugirieron que, en el promedio, el suministro de mercurio por descarga de las aguas residuales urbanas no ha cambiado considerablemente con el tiempo, aunque variaciones estacionarias y cambios en la intensidad de lluvia pueden haber producido las variaciones en las concentraciones reportadas.

En contraste, los resultados de la Ag presentaron: 1) gradual crecimiento en concentración de los niveles con la profundidad de los sedimentos durante el periodo 1960-1985; y 2) un decrecimiento de 1985-1995.

Los resultados tanto en Hg como en Ag, sugieren que la variabilidad en la oferta de metales y partículas suspendidas producidas por la estación de lluvias es más rápida que el tiempo tomado por los sedimentos para alcanzar una nueva diagénesis en estado de equilibrio.

El crecimiento gradual en concentraciones de Ag reactiva con el decrecimiento en profundidad posiblemente pueden ser atribuidos al incremento de la industrialización y al crecimiento de la población en la región, y al concomitante incremento en concentración de Ag en las descargas urbanas transferidas al puerto, principalmente a través de del Arroyo Ensenada.

Debido a que el Hg fue especialmente alto durante el periodo 1960-1985, e insignificamente bajo de 1985 al presente, se suponen que estos dos periodos estuvieron asociados a los procesos hidrológicos o climáticos en la región costera.

La hipótesis que se maneja es que la Ag es transportada a la zona de estudio principalmente por partículas suministradas por la lluvia y las desembocaduras de los cuerpos de agua cercanos al puerto. Sin embargo, el Hg aparece diluido por los sedimentos provistos por el Arroyo Ensenada durante la estación de lluvia, sugiriendo que este elemento puede ser transportado de una forma diferente a los sedimentos de la zona portuaria.

3.3. LA CONDICIÓN AMBIENTAL DE LOS PUERTOS EN EL CONTEXTO DE LA BAHÍA DE TODOS SANTOS.

Son numerosos los trabajos que han relacionado la condición ambiental de los puertos con el gran cuerpo de agua que los contiene, es decir la Bahía de Todos Santos, BTS.

Sañudo-Wilhelmy *et al.* (1984) documentaron la calidad bacteriológica del agua utilizada con fines recreativos y la extensión de la contaminación en la BTS, usando como organismos indicadores los coliformes totales y fecales. Sus resultados identificaron dos áreas donde se presentó la contaminación bacteriana, la parte central y la parte norte de la bahía. En la primera se descargan los efluentes del puerto de Ensenada y el Arroyo el Gallo, y en la segunda los efluentes de la zona del Sauzal y la playa norte. Ambas áreas se reportaron como fuertemente contaminadas por materia orgánica procedente principalmente de los desechos industriales de las

plantas procesadoras de pescado. La máxima densidad de coliformes totales y fecales fue detectada en época turística (mayo-agosto) debido a dos factores: el incremento del número de personas en la zona costera y la mayor producción de las plantas procesadoras de pescado durante esa época. En general, las áreas donde ocurrieron las mayores densidades de coliformes totales y fecales fueron bien localizadas; del mismo modo, las playas al sur de la bahía donde la calidad bacteriológica fue excelente.

Rivera-Duarte et al. (1986) exponen el efecto de los contaminantes derivados de la industria de harina de pescado, en un área que abarcó desde Punta San Miguel hasta Punta Morro en una franja de 5 Km. de anchura dentro de la BTS. Los resultados presentan un mapa de distribución de la contaminación por zonas de influencia (en superficie y fondo). Las zonas más afectadas corresponden a los principales aportes de materia orgánica tanto de origen doméstico como industrial; en este contexto se identifica la zona donde se ubica al puerto del Sauzal de Rodríguez como la de mayor contaminación orgánica en la bahía. En general, los resultados revelan: 1) que los efectos de la contaminación en la zona muestreada presentan un patrón de variación con valores mayores en verano y menores en invierno en concordancia con la época de mayor y menor producción pesquera; 2) que el efecto contaminante es mayor en el fondo; 3) que el grado de contaminación decrece con la distancia, siendo perceptible hasta un kilómetro fuera de la costa, aunque se distribuye principalmente a lo largo de ésta; y 4) que la capacidad de asimilación del cuerpo receptor costero es suficiente, en el plazo de un ciclo anual, para restablecer las condiciones naturales de la calidad del agua.

Donath-Hernández y Loya-Salinas (1989) presentaron el efecto de la contaminación orgánica en el medio ambiente marino de un sector de la BTS, desde la dársena del puerto de Ensenada hasta un área más allá de la boca del Estero de Punta Banda. El efecto de la contaminación fue

determinado a través del estudio de muestras del bentos, sedimento, y mediante el uso del Índice Trófico de la Infauna (ITI). En general, los resultados mostraron al puerto de Ensenada como un área con alto contenido de materia orgánica, donde se presenta una biomasa elevada de la infauna y condiciones anóxicas en donde ningún vestigio de macrofauna fue observado. En particular, el área más afectada por la contaminación orgánica fue localizada en la porción noroeste de la dársena portuaria, frente a los muelles de cabotaje; en contraste, el área menos contaminada fue localizada al sur del recinto portuario, y extendida a lo largo de la costa mas allá del Estero de Punta Banda.

Orozco-Borbón y Delgadillo-Hinojosa (1989) determinaron la contaminación fecal en sedimentos superficiales de la BTS, usando como indicadores de contaminación a las bacterias coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales. La concentración de las bacterias indicadoras de contaminación fecal fue mayor en las áreas cercanas a las descargas de aguas residuales del Arroyo el Gallo e industrias pesqueras aledañas al recinto portuario del puerto de Ensenada decreciendo en número a mayor distancia de estas. En general, se documentó un patrón de dispersión de bacterias, de las fuentes de contaminación al interior de la dársena portuaria y hacia el sur y centro de la bahía, por efecto de las corrientes.

Argote *et al.*, (1991) documentaron la susceptibilidad a la contaminación para la Bahía Todos Santos bajo tres condiciones de viento (NW, W, y N) mostrando que el recinto portuario tiene valores de 900 en las tres condiciones (es decir, que tiene una susceptibilidad a la contaminación permanentemente alta, o una capacidad de limpieza permanentemente baja

Escofet y Burgueño (1993) documentan, en 11 puntos selectos de la Bahía Todos Santos, la relación de compatibilidad o incompatibilidad entre la capacidad de limpieza del medio receptor, y el tipo de descarga que está recibiendo. Se muestra que el puerto de Ensenada y el puerto de

Sauzal son dos de los cinco sitios donde el tipo de descarga es incompatible, siendo en realidad porciones del sistema receptor que por su permanentemente baja capacidad de limpieza, no son compatibles con ningún tipo de descarga.

Díaz-Lozano (1995) describe el problema de la contaminación de la BTS, y menciona las políticas y regulaciones ambientales en su relación directa con las instituciones, de los tres niveles de gobierno, encargadas de vigilar y promover la preservación del ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Como principal fuente de contaminación en la bahía, se mencionan las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y mixtas que integran los efluentes del Arroyo el Gallo, así como los propios puertos de Ensenada y Sauzal de Rodríguez. Al puerto de Ensenada se relacionan problemas de contaminación atmosférica, de aguas residuales, de aceites lubricantes que aportan residuos peligrosos, y metales pesados, estos últimos generados por la industria náutica. Al puerto de Sauzal de Rodríguez se relacionan contaminantes por desechos generados por la actividad pesquera (aceites lubricantes gastados y aguas residuales) y el parque industrial FONDEPORT.

Gámiz-Ramírez (1997) presenta un análisis de dragados en el puerto de Ensenada. En el análisis considera las implicaciones físicas y químicas de los problemas asociados a la disposición del material de dragado, al tiempo que señala las fuentes de contaminantes a los sedimentos del puerto y los vacíos legales en el marco regulatorio ambiental, específicamente en lo que refiere a alcances reales de identificación de impactos, prevención y mitigación de los mismos. Los resultados exponen un probable impacto a las actividades de maricultivo y recreativas de la bahía, debido a una inadecuada caracterización y disposición del material de dragado.

Sepúlveda-Núñez (2003) presenta una descripción cronológica de los cambios en la morfología costera del área ocupada por la rada del puerto de Ensenada; años 1935-2001. Los cambios

identificados por el método de fotografía aérea multitemporal, se documentan como consecuencia de la presión ejercida por el crecimiento poblacional y el desarrollo urbano.

La descripción de los cambios en la morfología costera, basada en fotografías aéreas e imágenes de satélite, hace énfasis en la construcción de infraestructura portuaria, misma que se ha dado a través de un proceso de incorporación y adecuación de terrenos ganados al mar.

3.4. LOS PUERTOS EN EL MARCO DEL DESARROLLO COSTERO SUSTENTABLE

A partir de 1990, aproximadamente, han tomado presencia contribuciones que vinculan el desarrollo portuario y el desarrollo costero sustentable. En general, todas las contribuciones reconocen que un cierto grado de deterioro ambiental es inevitable por la misma actividad portuaria (Carpenter y Maragos, 1989; Darbra *et al.*, 2004). Pero también reconocen como necesario el hacer a los puertos compatibles con los cuerpos costeros adyacentes, siendo el gran motor para dichas mejoras, las demandas internacionales sobre calidad ambiental.

Fawcett *et al.* (1991) en un trabajo dirigido a los administradores de zona costera, identifican y conceptualizan los principales factores que influyen en la toma de decisiones de los administradores portuarios, y analizan la probable compatibilidad entre el crecimiento portuario y la administración costera en los Estados Unidos. Se identifican cuatro categorías de problemas:

1) desarrollo de algunas áreas portuarias para el proceso de “concentración de carga”; 2) dislocaciones económicas causadas por la concentración de externalidades, como son los costos en la calidad del aire del área local de los centros de carga impuestos por el envío de bienes a un destino distante de dicha área; 3) carencia de medios efectivos de comunicación y organización portuaria a través de los Estados Unidos; y 4) dilema sobre qué curso de acción es apropiado para remediar los problemas observados. Examinando el rol de la planificación costera y su efectividad en áreas industriales portuarias, consideraron los impactos de la planificación

regional portuaria como un medio para aliviar las deseconomías¹ que se observan en el actual plan de administración, y exploraron los modelos de los regímenes de administración, y las dificultades de su implementación. Presentan un medio de planificación de crecimiento portuario, donde las competencias estatales y federales tienden a compartir costos, actividades de supervisión y regulación, mostrando que en tales condiciones, los administradores costeros se ven abocados a buscar la eficiencia administrativa en términos económicos y ambientales, buscando un balance entre el beneficio económico generado por la actividad portuaria y las necesidades públicas de protección ambiental. Se busca mejorar la calidad de la administración costera en los puertos, desanimar la duplicación industrial que surge por la sobreoferta de los servicios portuarios, la ampliación portuaria en busca de mayores beneficios en situación de competencia con otros puertos, el abandono, y contaminación, sin inhibir las naturales ventajas comparativas urbanas, un uso adecuado de los recursos costeros, un uso múltiple, y acceso a estos recursos.

Escofet (2003 y 2004) reflexiona sobre los alcances y limitaciones del concepto de sustentabilidad en el escenario específico de los puertos, presentando una propuesta de análisis para contextualizar a los puertos en el espacio costero que los contiene. Su análisis se basa en un rescate de la figura de las Aguas Marinas Interiores, AMIs, que son una figura de la Ley Federal del Mar de México, y muestra en un análisis cartográfico que la mayoría de los puertos están anidados en algunos de estos cuerpos de agua mayores. Sus resultados sugieren, que a nivel local, las expectativas de sustentabilidad de los puertos están subordinadas al mantenimiento de su actividad prestadora de servicios; que la actividad portuaria puede ser en algún momento

¹ Una deseconomía es un factor externo que destruye o afecta el correcto funcionamiento de la economía normal, y se manifiesta por el aumento desproporcionado de los costos. El término es usado en la literatura económica para referirse directamente a una externalidad negativa.

incompatible con otras actividades, de la amplia gama de actividades posibles dentro de las AMIs; y que la dimensión regional ayuda a programar el acomodamiento de actividades localmente incompatibles.

Salles (2003), en un trabajo inserto en el documento de la Comisión de Marina de la LVIII Legislatura, que recopila las memorias del "Primer foro de control hidrográfico del dragado en puertos mexicanos", aborda el tema del "Diseño óptimo de puertos para reducir el volumen de dragado", mismo que es de singular relevancia en la búsqueda de propuestas para un desarrollo portuario sustentable. Analiza las probables afectaciones al medio costero por cambios batimétricos y del patrón de corrientes hidrodinámico que resultan de un mal diseño de las estructuras de protección portuaria (rompeolas, escolleras y espigones), y destaca la necesidad de medir los parámetros oceanográficos, como el oleaje y sus fenómenos de propagación, antes y después de la proyección de las obras portuarias, a fin de evitar cambios en el patrón de corrientes que generen procesos erosivos en zonas adyacentes al puerto, y de acumulación de sedimentos en los canales de acceso al mismo puerto. Destaca que un buen diseño de las estructuras de protección portuaria, redundará en 1) bajos costos de mantenimiento al disminuirse las obras de dragado y mitigación contra erosiones; 2) reducción del grado de incertidumbre de las estructuras de protección, brindando seguridad y rapidez en el desarrollo de las operaciones portuarias; y 3) un desarrollo portuario sustentable acorde a las necesidades ecológicas del litoral mexicano.

Darbara *et al.* (2004) presentaron una metodología para el autodiagnóstico del rendimiento de la administración ambiental en puertos marítimos. El Método del Autodiagnóstico, MA (SDM, por sus siglas en inglés), desarrollado por dos equipos de investigación sobre sesenta puertos marítimos, fue diseñado para buscar la comparación de la situación ambiental actual con la

correspondiente a años previos, y la evaluación de las oportunidades para mejorar. Su principal objetivo fue revisar las actividades administrativas y procedimientos que afectan el ambiente, y el camino a seguir por las autoridades portuarias para tratar los aspectos ambientales significativos. Entre las ventajas que el MA ofrece, figura su aplicación en aproximadamente seis horas por un usuario no experto. Sus requerimientos y estructura, fueron basados en el vocabulario de la ISO 14001, por lo que puede ser considerado como un primer paso en la implementación voluntaria de un sistema de administración ambiental para comunidades portuarias. Habiendo surgido dentro de una tendencia para mejorar la administración ambiental en puertos, el MA reconoce los factores que influyen sobre esta tendencia (creciente presión de la legislación ambiental; necesidad de los puertos de mantener una buena imagen pública).

El MA tuvo una buena acogida entre los profesionales portuarios, que mostraron disposición para usar herramientas derivadas de investigaciones colectivas entre la Academia y la Administración portuaria, reconociendo su simplicidad respecto a la complejidad de metodologías internacionales como la ISO 14001/EMAS, cuya aplicación requiere esfuerzo y conocimiento técnico que escalan con rasgos de los puertos tales como el tamaño, la importancia comercial, y los requerimientos de legislación nacional o regional.

En México, las Administraciones Costeras Integrales Sustentables, ACIS, corresponden a una nueva figura jurídica propuesta en el 2005 por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La propuesta surge en respuesta a la problemática de controlar eficientemente los bienes nacionales al cuidado de la SCT y de la SEMARNAT a lo largo de los litorales y de las AMIs. Su objetivo es impulsar el desarrollo sustentable de zonas de litoral con alto potencial, integrando en un solo enfoque de acciones y compromisos su administración a través de una sociedad mercantil de carácter municipal que sea responsable única de administrar eficientemente, integral y sustentablemente los bienes que le sean concesionados o destinados; este esquema es similar al que opera en los puertos con APIs (IFAI, 2006). A la fecha se cuenta con los títulos de concesión de las ACIS de

Cozumel, Guaymas y Coatzacoalcos, que funcionarán como programas pilotos en el ejercicio de esta nueva figura jurídica. La entrega de los títulos se hizo el 30 de marzo de 2006, durante la tercera Reunión Nacional de Municipios Costeros, celebrada en Cozumel, Quintana Roo. Entendidas las ACIS como una propuesta de sociedad mercantil, en la siguiente matriz se presenta un breve análisis de sus supuestas Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA) (Tabla I).

Tabla I. Matriz de Debilidades Oportunidades Fortalezas y Amenazas (DOFA), de las ACIS

<p>FORTALEZAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autonomía de gestión administrativa y financiera. • Reinversión de los ingresos derivados de las actividades de la administración y operación. • Compromiso de inversión al 100% del superávit en ordenamiento, saneamiento y desarrollo. • Capacidad para congregarse el interés de los sectores público, privado y social para invertir en el desarrollo costero. • En concordancia con el concepto de Manejo Integral de la Zona Costera. • Actuará como elemento local en el Programa de Gran Visión de Desarrollo Litoral (PRODELI), de la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante (CGPMM), mejorando la competitividad portuaria a nivel local. 	<p>DEBILIDADES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para realizar una delimitación geográfica que considere mejor la compleja interacción de la interfase tierra-agua. • Necesidad de definir Recinto Costero, Administración Costera Integral y Programa Maestro de Desarrollo Costero, mediante iniciativas de reforma constitucional y de reforma a la Ley de Puertos (1993). • Dificulta para establecer precios y tarifas en una banda uniforme para todo el país. • Todavía no están disponibles los resultados de las primeras ACIS piloto. • Dificultad para realizar las Manifestaciones de Impacto Ambiental de las áreas a administrar. • Dificultad para internalizar costos ambientales.
<p>OPORTUNIDADES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se puede dar un buen control y un eficiente desarrollo a los bienes nacionales a lo largo de los litorales y de las aguas interiores. • Se puede integrar y coordinar al gobierno federal y al de los estados, en la formulación de programas de desarrollo costero asociados con programas de desarrollo portuario. • Se pueden desarrollar programas de ordenamiento de litoral, que no generen conflictos entre actividades productivas, así como deterioros ambientales. • Se pueden vincular los ingresos derivados de las concesiones otorgadas para el uso y aprovechamiento de puertos y terminales, con programas orientados al desarrollo costero. • Se puede hacer un buen uso de la existencia de propuestas integrales para una mejor delimitación geográfica en zona costera (e.g. el análisis cartográfico propuesto por Escofet, 2003). 	<p>AMENAZAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carencia de un marco regulatorio y normativo específico que respalde las estrategias de los proyectos integrados de desarrollo costero. • Los probables efectos ambientales pueden generar oposición a los proyectos de desarrollo costero. • Respaldo político. • Riesgo de que prevalezcan los beneficios privados sobre el interés público (costos ambientales).

3.5. DIAGNÓSTICO ORIENTADO AL MANEJO

Arredondo-García (1995) realiza un análisis del sistema portuario del puerto de Ensenada. En especial se identifican los distintos actores involucrados en el desarrollo portuario, al tiempo que se analizan los principales problemas y la proposición de alternativas de uso para este puerto.

Dos encuestas realizadas, a través de la técnica Delphi de consulta a grupos de expertos, arrojaron como resultado en su primera parte (resultados de la primera encuesta) doce problemas portuarios importantes, de los cuales el más relevante fue el problema de contaminación por descargas de aguas residuales domésticas e industriales. Como principal solución a la problemática, se identificó la propuesta de privatización del puerto, previéndose para ello la creación de la Administración Portuaria Integral (API).

Otras propuestas de solución, puntuales al tema de problemática ambiental, promovieron acciones para atacar las fuentes contaminantes ajenas al recinto. Así, se propuso: (1) proporcionar limpieza y mantenimiento al Arroyo Ensenada, que fue considerado como una de las fuentes principales de desechos sólidos a la rada portuaria, particularmente en temporada de lluvias; y (2) aumentar la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales de CESPE, así como mantener un estricto control y vigilancia para evitar descargas clandestinas de desechos residuales.

3.6. MEJORAMIENTO AMBIENTAL

El trabajo de Czitrom *et al.* (2003) presenta una propuesta técnica para mejorar la calidad del agua del puerto de Ensenada, mediante un Sistema de Bombeo por energía de Oleaje (SIBEO). En detalle, se promueve el uso de un bloque SIBEO, durante 3 años, a instalar en el rompeolas, para inyectar agua no contaminada, rica en oxígeno, en varios sitios del puerto.

El apoyo metodológico para justificar la propuesta surge de la implementación de dos modelos: uno numérico de la hidrodinámica del puerto, que es conducida por la marea y el viento; y otro de dispersión para simular la trayectoria de partículas etiquetadas liberadas dentro del puerto. Los resultados exponen las razones por las cuales la marea, con su capacidad de limpieza, no puede dar un saneamiento adecuado tanto al agua como a los sedimentos contaminados al interior del puerto.

Los pormenores de los resultados develan 1) un puerto poco profundo y con un cuerpo de agua verticalmente homogéneo; 2) que la circulación residual de las mareas es bastante débil, nunca alcanzando 1 cm/s, especialmente en la porción norte del puerto que es la más contaminada; y 3) que las mareas tienen efecto restringido a la sección sur del puerto mientras que la sección norte permanece principalmente inalterada por ellas.

El trabajo de Flores-Vidal *et al.* (2004) presenta el resultado de la simulación numérica de la hidrodinámica del puerto de El Sauzal de Rodríguez, y el del efecto de un sistema de bombeo por energía de oleaje (SIBEO).

La simulación numérica expuso el patrón de circulación, estratificación y mezcla dentro del puerto, mostrando que la variación del nivel del mar es el principal forzamiento de la circulación superficial y mezcla vertical en este sistema. No obstante, el viento también fue reportado como el principal forzamiento del patrón de circulación y mezcla, puntualmente cuando este es superior a 6 m s^{-1} .

Respecto al efecto del SIBEO, se indica que una descarga controlada puede ser capaz de mejorar la circulación y mezcla, lo que podría reducir los tiempos de residencia y mejorar los niveles de oxígeno en el agua.

4. MARCO CONCEPTUAL

Se presenta una serie de ideas y conceptos que contextualizan a los puertos en relación a sus principios de función y diseño. También, se presenta el significado, origen y evolución del análisis de impactos acumulativos.

4.1. OBJETIVOS DE LOS PUERTOS, COMPONENTES ESENCIALES DE LOS MISMOS, Y CONDICIÓN

AMBIENTAL

4.1.1. Objetivo de los puertos

Los objetivos son proveer facilidades seguras y eficientes para la pesca, embarque, comercio o transporte. Las marinas o puertos usualmente atraen una variedad de actividades dependientes tales como cartas de zambullidas, servicios comerciales, e industria liviana. Por consiguiente, ellos con frecuencia son previstos como un catalizador para el desarrollo regional (Carpenter y Maragos, 1989).

4.1.2. Componentes esenciales

Independientemente de su tamaño o configuración, un puerto o marina tendrán en común algunos atributos. El objetivo más esencial es la provisión de un paso seguro a un área abrigada para el canotaje o actividades relacionadas con el embarque. Así, el área abrigada no ha de estar expuesta a oleadas fuertes, o al potencial daño de la ola. Los componentes necesarios para proveer este refugio pueden incluir lo siguiente: 1) un canal de acceso bastante profundo para la talla de un navío y diseñado para prevenir la cresta de las olas, su categoría y ruptura; 2) estructuras para proteger el área portuaria de olas y oleadas, usualmente escolleras o rompeolas; 3) una dársena de ciaboga, profunda y bastante amplia para las maniobras de un navío; 4) un área de atraque; 5) facilidades en tierra para descarga, carga, almacenaje, y recarga de combustible; 6) una rampa para lanzar un pequeño barco; 7) ayudas a la navegación tales como canal de boyas,

marcadores, y delfines de amarradura; 8) infraestructuras varias relacionadas para acomodar actividades como acceso al agua, facilidades para disposición de residuos (especialmente para navíos), y acceso a tierra (e.g., caminos). La mayor parte de los puertos también requieren mantenimiento periódico para reparar las estructuras de protección, el servicio de ayudas de navegación, y restaurar las profundidades dentro del canal y la dársena (Carpenter y Maragos, 1989).

4.1.3. Condición ambiental

Aunque la naturaleza y extensión de los impactos dependen directamente de las características ambientales del sitio del proyecto, es posible vislumbrar una estructura general de impactos asociados a puertos y marinas. Los impactos ambientales más comunes asociados con marinas y desarrollos portuarios incluyen: 1) degradación de la calidad del agua en la dársena y áreas de atraque; 2) erosión de playas y tierras adyacentes debido al cambio de corrientes y el régimen de oleaje atribuido a las estructuras del puerto; 3) seguridad inadecuada debido a canales de navegación demasiado estrechos, demasiado bajos, o inadecuadamente marcados; 4) la necesidad imprevista de cubrir costos por mantenimiento de dragado y reparación de estructuras protectoras; y 5) impactos ecológicos por dragado, excavaciones con explosivos, y relleno (Carpenter y Maragos, 1989).

La existencia misma del puerto, así como cualquier expansión de sus instalaciones, implica una cierta pérdida de hábitat. En los puertos encontramos casi todos los elementos que, de una u otra manera, pueden ser asociados con el impacto ambiental: aguas residuales, emisiones de gas o partículas a la atmósfera, ruido, contaminación de suelo, dragado, producción de residuos, emisiones accidentales en agua o aire, etc. (impactos sobre el agua, el aire o el suelo). La contaminación puede ocurrir en condiciones normales o accidentales (Darbra *et al.*, 2004).

4.2. DEFINICIÓN DE RECINTO PORTUARIO

La NOM-002-SCT4-2003 define como recinto portuario a “La zona federal delimitada y determinada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales en los puertos, terminales y marinas, que comprende las áreas de agua y terrenos de dominio público destinados al establecimiento de instalaciones y a la prestación de servicios portuarios. Incluye obras exteriores, antepuerto, dársenas, obras de atraque, de almacenamiento, patios de maniobra, astilleros y otras instalaciones para construir y reparar barcos, así como a las oficinas administrativas correspondientes a la operación portuaria”.

Darbra *et al.* (2004) consideran que desde el punto de vista del ambiente, los puertos marítimos son sistemas muy complejos. De hecho, la existencia misma del puerto, así como cualquier expansión de sus instalaciones, implica una cierta pérdida de hábitat. Además en los puertos encontramos casi todos los elementos que, de una u otra manera, pueden ser asociados con el impacto ambiental: aguas residuales, emisiones de gas o partículas al interior de la atmósfera, ruido, contaminación de suelo, dragado, producción de residuos, emisiones accidentales en agua o aire, etc. Por lo tanto, puede haber un impacto ambiental sobre el agua, el aire o el suelo. Además, la contaminación puede ocurrir en condiciones normales o accidentales.

4.3. EL IMPACTO ACUMULATIVO

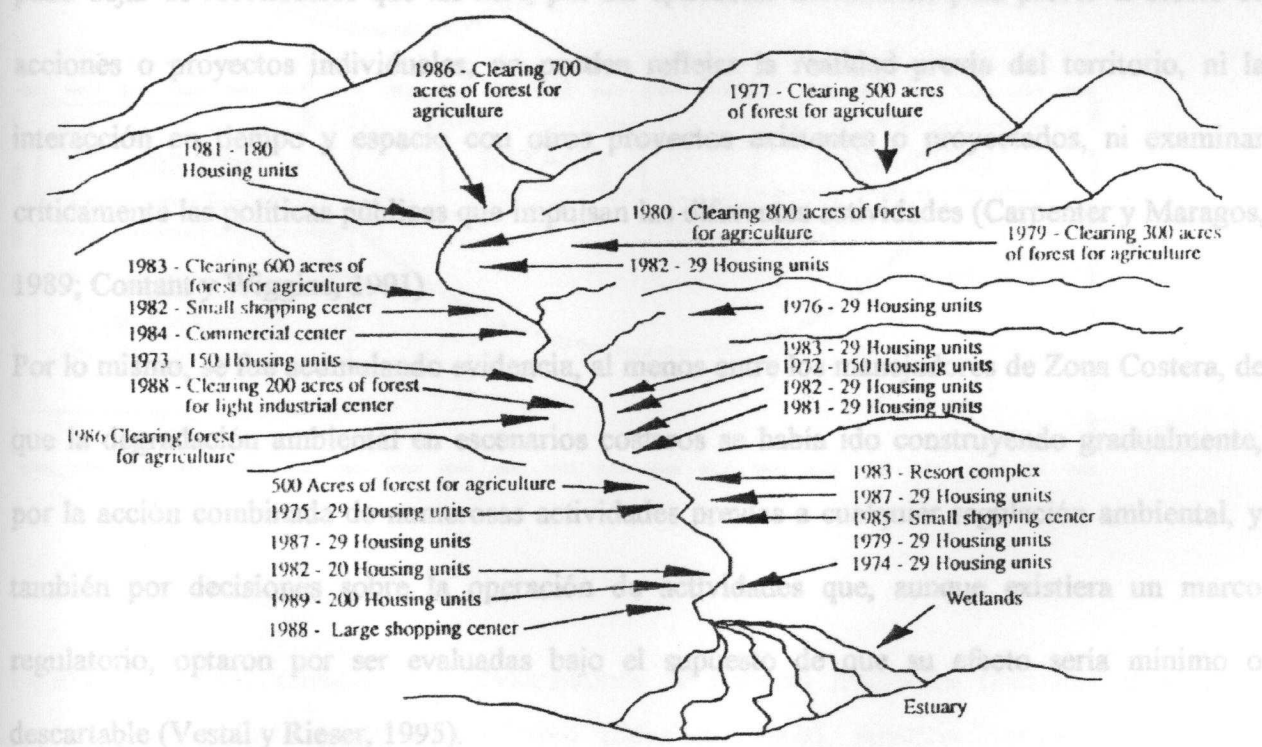
4.3.1. Definición

Para Spaling (1997) y Xue *et al.* (2004) los impactos ambientales acumulativos se entienden como la acumulación, en tiempo y a través del espacio, en un modo aditivo o interactivo, de los cambios inducidos por los humanos en los componentes ambientales valorados.

Figura 1. Impacto acumulativo para los parámetros incremento de la erosión en un sistema de cuenca y sedimentación en un sistema de estuario (tomado de Sorensen, y West, 1992)

Los impactos acumulativos pueden surgir a través de varios caminos: por la “adición persistente de un proceso (i.e. impactos acumulativos de una sola fuente)” o “efectos compuestos involucrando dos o mas procesos (i.e. los efectos de impactos de múltiples fuentes)”.

Para Sorensen y West (1992) los impactos acumulativos son las consecuencias de acciones separadas o relacionadas que pudiendo ser menores por si mismas, pueden ser significativas al agregarse a un impacto total. La expresión “impacto acumulativo” normalmente da a entender una imagen de incrementos acumulativos o progresivos de algún tipo (figura 1).



La mayor parte de los proyectos desarrollados eran demasiado pequeños para producir aumentos significativos de la erosión y la sedimentación. Las dependencias de gobierno que emitieron los permisos para el desarrollo en la cuenca solo consideraron los impactos potenciales de cada propuesta, como si ellas no estuvieran interconectadas. Sin embargo en el periodo 1972-1989, se construyeron 594 viviendas, dos centros comerciales, un centro industrial, dos complejos turísticos, y 3 608 acres de bosque fueron desmontados para la agricultura.

Figura 1. Impacto acumulativo para los parámetros incremento de la erosión en un sistema de cuenca y sedimentación en un sistema de estuario (tomado de Sorensen, y West, 1992).

4.3.2. Origen y evolución del análisis de impacto acumulativo

Para este inciso, se transcriben los principales puntos del trabajo de Escofet (2006) y se resumen en la Figura 2

La aproximación conceptual del Análisis de Impacto Acumulativo, AIA, surgió al reconocerse las limitaciones de las tradicionales Evaluaciones de Impacto Ambiental, EIA, establecidas en la mayoría de los países como parte de una política pública de protección ambiental. Independientemente del avance que significó contar con un marco regulatorio ambiental, no pudo dejar de reconocerse que las EIA, por ser aplicables únicamente para prever el efecto de acciones o proyectos individuales, no pueden reflejar la realidad previa del territorio, ni la interacción en tiempo y espacio con otros proyectos existentes o proyectados, ni examinar críticamente las políticas públicas que impulsan las diferentes actividades (Carpenter y Maragos, 1989; Contant y Wiggins, 1991).

Por lo mismo, se fue acumulando evidencia, al menos entre los manejadores de Zona Costera, de que la degradación ambiental en escenarios costeros se había ido construyendo gradualmente, por la acción combinada de numerosas actividades previas a cualquier regulación ambiental, y también por decisiones sobre la operación de actividades que, aunque existiera un marco regulatorio, optaron por ser evaluadas bajo el supuesto de que su efecto sería mínimo o descartable (Vestal y Rieser, 1995).

Sobre esa base, el Consejo para la Calidad Ambiental (CEQ por sus siglas en inglés) estableció que un AIA, debe incluir *“el efecto de las acciones pasadas, las acciones presentes, y las acciones razonablemente visualizadas para el futuro, independientemente de quién o quiénes ejerzan las acciones”* (McCold y Saulsbury, 1996).

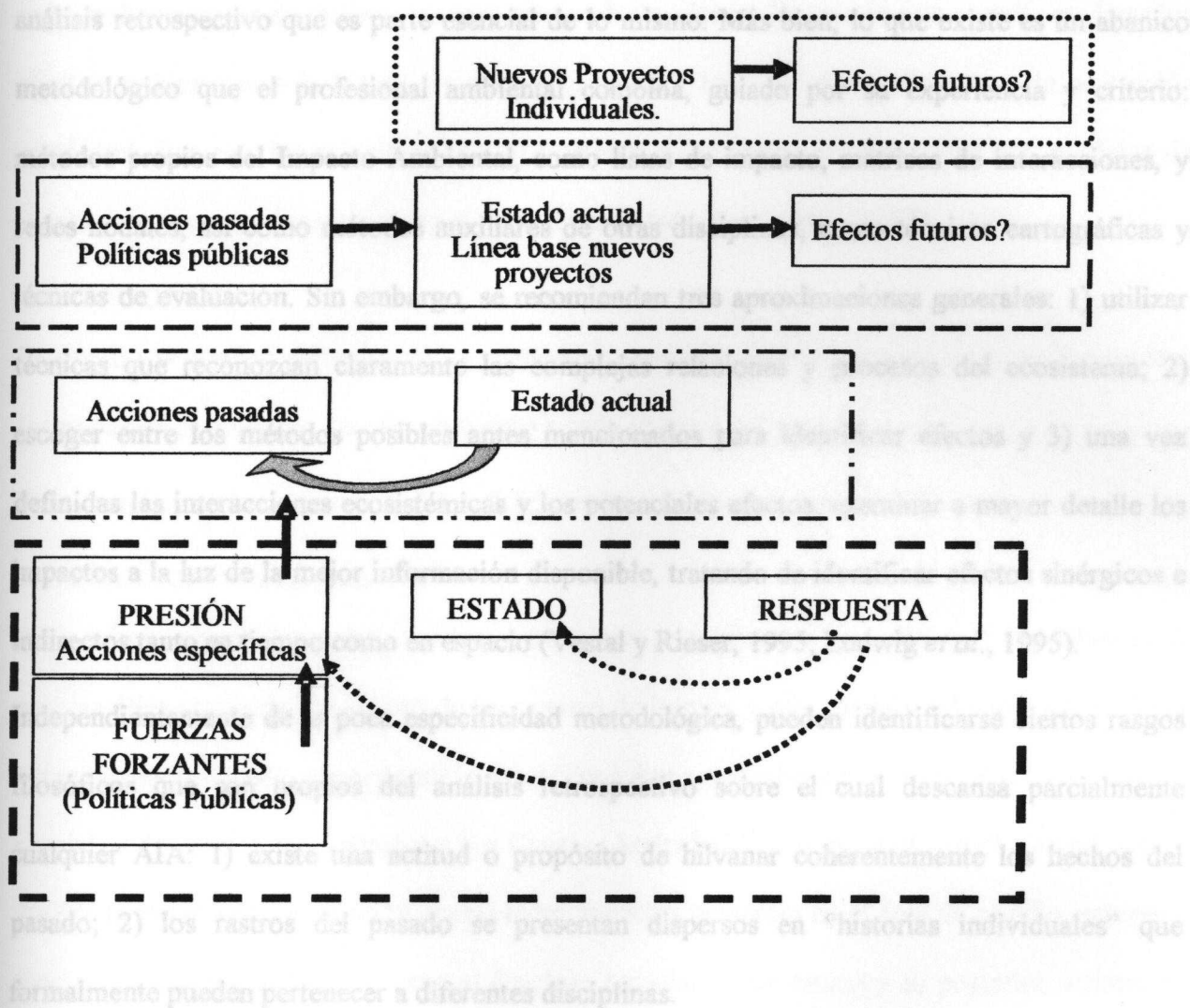


Figura 2. Correspondencia entre Evaluaciones de Impacto Ambiental (recuadro punteado), Análisis de Impacto Acumulativo (línea quebrada), Análisis Retrospectivo (línea quebrada y puntos) y Modelo de Presión-Estado-Respuesta (línea quebrada gruesa) (tomado de Escofet, 2006).

En general, se acepta que no existen metodologías específicas o únicas para los AIA, o para el análisis retrospectivo que es parte esencial de lo mismo. Más bien, lo que existe es un abanico metodológico que el profesional ambiental combina, guiado por su experiencia y criterio: métodos propios del Impacto Ambiental, como listas de impacto, matrices de interacciones, y redes nodales, así como métodos auxiliares de otras disciplinas, como técnicas cartográficas y técnicas de evaluación. Sin embargo, se recomiendan tres aproximaciones generales: 1) utilizar técnicas que reconozcan claramente las complejas relaciones y procesos del ecosistema; 2) escoger entre los métodos posibles antes mencionados para identificar efectos y 3) una vez definidas las interacciones ecosistémicas y los potenciales efectos, examinar a mayor detalle los impactos a la luz de la mejor información disponible, tratando de identificar efectos sinérgicos e indirectos tanto en tiempo como en espacio (Vestal y Rieser, 1995; Ludwig *et al.*, 1995).

Independientemente de la poca especificidad metodológica, pueden identificarse ciertos rasgos filosóficos que son propios del análisis retrospectivo sobre el cual descansa parcialmente cualquier AIA: 1) existe una actitud o propósito de hilvanar coherentemente los hechos del pasado; 2) los rastros del pasado se presentan dispersos en “historias individuales” que formalmente pueden pertenecer a diferentes disciplinas.

Igualmente, en la filosofía que guía a la aproximación metodológica, se acepta que los rastros y las historias individuales pueden no ser medibles en las unidades convencionales aceptadas por las ciencias formales, haciendo necesaria una búsqueda activa de métodos que puedan tender un puente para el análisis de los datos “blandos”, siendo algunos de estos métodos los análisis semicuantitativos, así como los que permiten analizar las diferencias cualitativas y su relación con efectos no-lineales (Janson y Stalvant, 2001).

Un punto central del concepto de AIA es que debe analizar todos los factores, independientemente de quién o quiénes ejerzan las acciones. Es esto lo que permite analizar los efectos ambientales a la luz de las políticas públicas, tanto de desarrollo como de protección ambiental. Por eso, los principios del AIA pueden relacionarse y equivalerse con modelos de instituciones internacionales, como el de Presión-Estado-Respuesta (OECD, 1993).

5. MÉTODOS

El estudio se realizó seleccionando a criterio un conjunto de conocimientos, procedimientos e insumos que permitieran dar cumplimiento a cada objetivo propuesto.

Para cumplir con los objetivos 2.2.1. y 2.2.2. se describe la metodología siguiente:

5.1. IMPACTOS Y SUS CAUSAS

Para relacionar los impactos con sus causas, se seleccionaron trabajos que describieran la problemática ambiental de alguno de los puertos de interés, y que además indicaran sus posibles causas y, en lo posible, contuvieran información sobre evidencias clave, a fin de cumplir con los requisitos del método de Impactos y sus Causas (Andrade-Hernández *et al.*, 1999; Ortiz-Lozano, 2000): 1) establecer una relación causal entre impactos presentes en el área de estudio, actores y fuentes implicadas; 2) proceder con el desglose espacial de las causas y su posterior registro en una matriz; 3) contar con evidencia clave ya cuantificada y/o con supuestos teóricos o factores locales para la documentación del caso de impactos posibles.

Los trabajos seleccionados para aplicar la metodología anterior fueron: Lizárraga-Partida (1973); Donath-Hernández y Loya-Salinas (1989); Orozco-Borbón y Delgadillo-Hinojosa (1989); Arredondo-García (1995); Romero (1995) y Macías (1996), citados por Gámiz-Ramírez (1997); Flores-Vidal *et al.* (2004) y citas contenidas (Rivera, 1984; Segovia-Zavala *et al.*, 1988; Núñez, 1994; Flores *et al.*, 2003). Con base en su contenido, se identificaron los impactos y se procedió

a desglosar espacialmente las causas, distinguiendo las siguientes categorías: causas endógenas, para las que están localizadas al interior del puerto; causas exógenas, para aquellas localizadas fuera del puerto. Dentro de las exógenas, se distinguió como perimetrales a las que ocurrieran en tierra firme en un perímetro que abarca la parte de tierra firme del recinto portuario y la zona urbana inmediatamente adyacente, y como no perimetrales a las que ocurrieran a mayor distancia tierra adentro (fig. 3).

En adición a lo anterior, que describía a los puertos como receptores de impactos generados por actividades en tierra o desde el interior de ellos mismos, se analizaron casos que permitieran visualizar a los puertos como exportadores de impacto hacia la bahía, y como receptores de impactos por agentes provenientes de la bahía.

5.2. EVOLUCIÓN DEL PERÍMETRO INTERNO DEL PUERTO DE ENSENADA

Para evaluar la conformación del perímetro interno del puerto de Ensenada, como posible causa coadyuvante en la permanencia de los contaminantes recibidos, se aplicó el análisis de contorno y curvilinearidad a una secuencia histórica del perímetro interno portuario (1935-2005). Se trabajó con insumos cartográficos e insumos analíticos. Este análisis fue guiado por los antecedentes que señalan a los cambios geomorfológicos de los puertos como causa de una menor circulación, mayor tiempo de residencia y eventualmente mayor permanencia de los contaminantes.

Los insumos cartográficos fueron: 1) Sepúlveda-Núñez (2003); 2) Póster Ensenada Ikonos (Hinojosa, 2002) y 3) fotografía aérea a color tomada por Botello (2005). El primer documento presenta 31 fotografías aéreas con proyección vertical y una imagen satelital de la rada portuaria en una secuencia histórica desde 1935-2001 (fig. 4); el segundo presenta a escala 1: 18 000 la franja costera en Baja California entre la desembocadura del arroyo San Miguel al norte y el

campo militar El Ciprés al sureste, incluyendo tanto el puerto del Sauzal de Rodríguez como el de Ensenada; el tercero presenta los rasgos más recientes añadidos al puerto, esencialmente una zona de expansión al sur del Espigón de El Gallo, que corresponde a terrenos ganados al mar para construcción de infraestructura de concreto por la empresa Amaya Curiel y Cía.

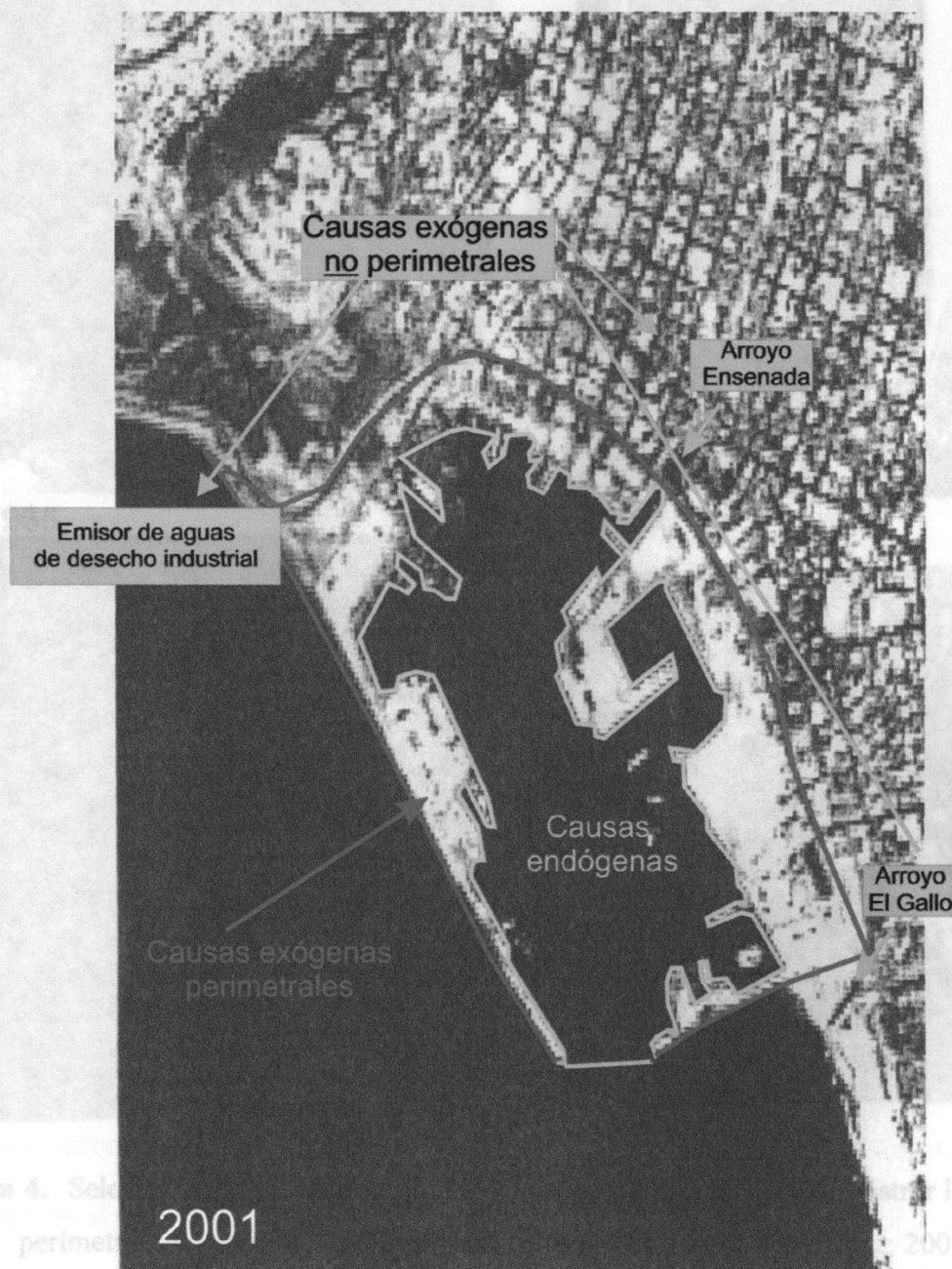


Figura 4. Selección de causas de impactos ambientales (según la evolución del perímetro del puerto, 2001-2003)

Figura 3. Puerto de Ensenada: ubicación espacial de causas de impactos ambientales.

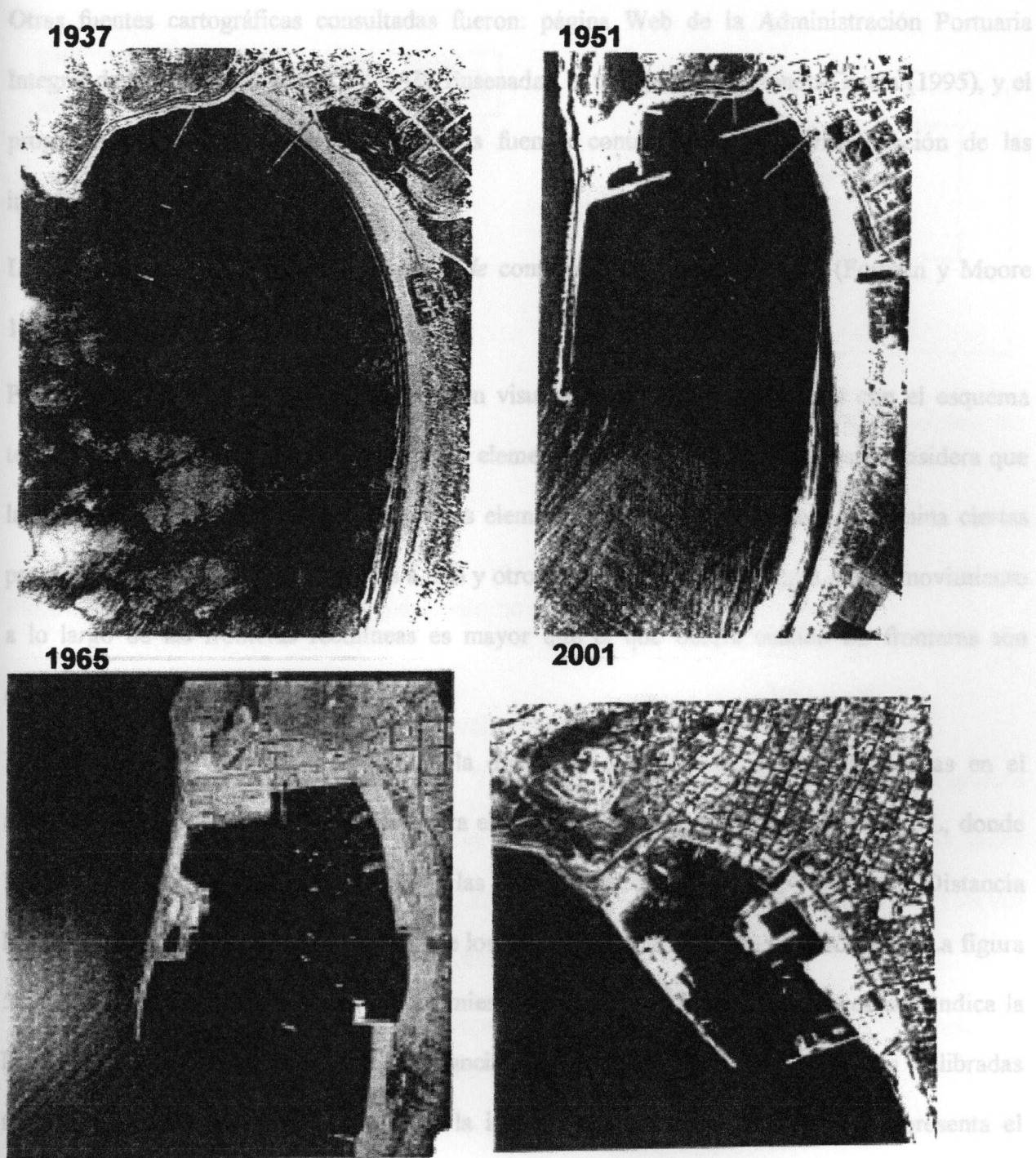


Figura 4. Selección de tres aerofotografías y una imagen satelital, para ilustrar la evolución del perímetro del puerto de Ensenada, B.C. (a partir de Sepúlveda-Núñez, 2003).

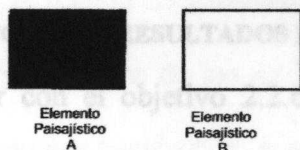
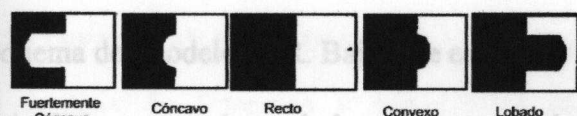
Otras fuentes cartográficas consultadas fueron: página Web de la Administración Portuaria Integral de Ensenada, S.A. de C.V. (API Ensenada), el trabajo de Arredondo-García (1995), y el programa informático Google Earth. Estas fuentes contribuyeron a la visualización de las instalaciones físicas del puerto.

Los insumos analíticos fueron el *análisis de contorno* y de *curvilinearidad* (Forman y Moore 1992; Forman, 1995; Escofet, 2004).

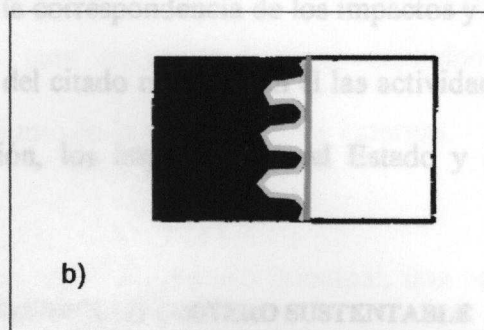
Para el análisis de contorno se contrastaron visualmente las imágenes reales con el esquema teórico de tipos de contacto entre parches o elementos de un mosaico. El análisis considera que la forma que presenta el contacto entre dos elementos diferentes del paisaje, determina ciertas propiedades mecánicas de los objetos a uno y otro lado. En general se acepta que el movimiento a lo largo de las fronteras rectilíneas es mayor que el que ocurre cuando las fronteras son curvilíneas (fig. 5a).

El análisis de curvilinearidad formalizó la dimensión de las inflexiones identificadas en el análisis de contorno. La fórmula usada para el Índice de Curvilinearidad es: $I_c = DI/DL$, donde DI es la Distancia Intersticial (longitud de las inflexiones de una frontera) y DL, es la Distancia Lineal (longitud de una línea recta que une los puntos sobresalientes de una frontera). La figura 5b ilustra el principio teórico y el procedimiento que se siguió en este trabajo, el azul indica la Distancia Lineal, y lo amarillo la Distancia Intersticial. Estas medidas fueron calibradas realizando las mismas mediciones sobre la imagen del puerto de Ensenada que presenta el programa informático Google Earth, y tomando las medidas con las mismas herramientas que proporciona el programa.

Desarrollo Económico (OECD, por su sigla en inglés).



a) **Análisis de Contorno.** Tipos de contacto entre parches o elementos de un mosaico.
Tomado de Forman y Moore (1992; citado por Escofet, 2004)



b) **Análisis de Curvilinearidad.**
Tomado de Forman y Moore (1992; citado por Escofet, 2004)

Figura 5. Esquemas teóricos análisis de contorno (a) y de curvilinearidad (b).

5.3. SECUENCIA HISTÓRICA DE NORMAS AMBIENTALES

Para cumplir con el objetivo específico 2.2.3., se llevó a cabo una revisión bibliográfica extrapolar los resultados de *Czitrom et al.* (2003) a escenarios portuarios con menor complejidad geomorfológica. Para esto se tomaron tres escenarios pasados (1980, 1977 y 1951) y se comparó la longitud del perímetro interno, la longitud de la boca, y la relación longitud del eje mayor sobre longitud de la boca.

5.4. ANÁLISIS DE ACUERDO A LOS PRINCIPIOS DE IMPACTO ACUMULATIVO, Y EN TÉRMINOS DE MODELOS AMBIENTALES GENERALES

Para cumplir con los objetivos 2.2.4. y 2.2.5., se analizaron los resultados de esta tesis a la luz de los principios de impacto acumulativo, y en términos de modelos ambientales generales, como lo es el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por su sigla en inglés).

Los resultados del análisis se presentan incorporados en la tabla IV, y estructurados en el esquema del modelo PER. Bajo éste esquema, se mostró la correspondencia de los impactos y las actividades generadoras de los mismos, con los bloques del citado modelo. En él las actividades generadoras de impactos correspondieron con la Presión, los impactos con el Estado y los arreglos de manejo con las Respuestas.

5.5. PROYECCIÓN DE RESULTADOS EN TÉRMINOS DEL DESARROLLO COSTERO SUSTENTABLE

Para cumplir con el objetivo 2.2.6., se exploró el proyecto que existe actualmente sobre la instalación de un nuevo puerto en Punta Colonet (Puerto de Bahía Colonet). Para esto, se tomó como base el trabajo de Czitrom *et al.* (2003) que muestra, en una configuración actual del puerto, que la capacidad de limpieza por mareas está restringida a la parte sur del recinto portuario, mientras que la parte norte permanece con aguas que recirculan en remolinos, sin ningún intercambio.

Sobre esa base, y tomando como insumos los resultados del inciso 6.2.2. de esta tesis, se trató de extrapolar los resultados de Czitrom *et al.* (2003) a escenarios portuarios con menor complejidad geomorfológica. Para esto se tomaron tres escenarios pasados (1980, 1972 y 1951) y se comparó la longitud del perímetro interno, la longitud de la boca, y la relación longitud del eje mayor sobre longitud de la boca.

Para visualizar la importancia de este tipo de análisis en el contexto del desarrollo costero sustentable, se tomó como apoyo los principios enunciados por Salles (2003) acerca del diseño de las estructuras portuarias y los futuros eventos de erosión y depositación así como los antecedentes que señalan a la complejización geomorfológica como una factor de impacto sobre el destino y permanencia de las aguas, los sedimentos, y los contaminantes (Xue *et al.*, 2004).

6. RESULTADOS de Macías (1996, citado por Gámiz, 1997) se documentó la contaminación

6.1.- IMPACTOS Y SUS CAUSAS por organoclorados, evidenciada por la concentración de

El análisis de Impactos y sus Causas mostró que para cualquier impacto considerado (contaminación orgánica, metales pesados) existe un conjunto de causas internas y externas.

6.1.1. Puerto de Ensenada con base en el trabajo de Arredondo-García (1997) se documentaron los principales

Con base en el trabajo de Lizárraga-Partida (1973) se encontró un impacto principal, que es la contaminación orgánica de los sedimentos, misma que se documenta por la composición de la fauna de poliquetos bentónicos. A su vez, las causas fueron principalmente endógenas (cuatro) y en menor proporción las exógenas (dos en total, una perimetral y otra no perimetral) (fig. 6).

Siempre en relación con la contaminación orgánica, el trabajo de Donath-Hernández y Loyola-Salinas (1989) mostró una causa endógena (descarga de aguas residuales de la industria alimenticia) y una causa exógena no perimetral (material contaminante de las descargas que convergen en el Arroyo el Gallo y aquellas de las pesqueras Peninsular Galicia) (fig. 7).

Con base en el trabajo de Orozco-Borbón y Delgadillo-Hinojosa (1989) se documentó el impacto por contaminación fecal en sedimentos superficiales. Sus causas fueron exógenas no perimetrales (Arroyo el Gallo y pesqueras Peninsular Galicia) (fig. 8).

Con base en el trabajo de Romero (1995, citado por Gámiz, 1997) se encontró un impacto ambiental, el de la contaminación de sedimentos superficiales por metales pesados, documentado por las concentraciones de $Cu > Zn > Cd > Fe > Ni > Al > Cr > Mn$ entre 1.1. y 14.3 veces más que el

promedio de la bahía de Ensenada. Se identificaron tres causas endógenas (zonas acuáticas de reparaciones navales) y una exógena perimetral (zona de reparaciones navales en terrenos ganados al mar) (fig. 9).

Con base en el trabajo de Macías (1996, citado por Gámiz, 1997) se documentó la contaminación de sedimentos superficiales por organoestañados, evidenciados por la concentración de compuestos Monobutil, Dibutil y Tributil. Sus causas fueron las mismas que se citaron para los impactos documentados por Romero (op. cit.) (fig. 9).

Con base en el trabajo de Arredondo-García (1995) se documentaron los principales contaminantes vertidos a la rada portuaria, correspondiendo a éstos, cuatro causas endógenas y diez causas exógenas (nueve perimetrales y una no perimetral) (fig. 10).

El análisis de la red causal presenta tres resultados importantes: 1) que casi todos los concesionarios y usuarios del puerto son responsables del vertimiento de los desechos sólidos y las sustancias orgánicas solubles o particuladas, 2) que la actividad implicada con mayores causas asociadas fue el comercio (cinco causas), y 3) que todas las causas se localizaron en el extremo norte del puerto a excepción de una, ubica en la porción sur.

Con base en todo lo anterior, fue posible componer una síntesis de relaciones causales de impactos en el puerto de Ensenada (fig. 11). De esta forma, se documentaron cuatro impactos en los sedimentos: contaminación fecal en sedimentos superficiales, contaminación de sedimentos por organoestañados, contaminación de sedimentos por metales pesados, y contaminación orgánica de los sedimentos, este último fue el que mayores causas endógenas y exógenas presentó (cuatro y tres, respectivamente).

6.1.2. Puerto el Sauzal

Con base en el trabajo de Flores-Vidal *et al.* (2004) y citas contenidas (Rivera, 1984; Segovia-Zavala *et al.*, 1988; Núñez, 1994; Flores *et al.*, 2003) se encontraron dos impactos: 1) la contaminación orgánica, de agua y sedimentos; y 2) la escasa circulación y baja mezcla.

Al primero le fueron documentadas dos causas, una endógena (la descarga de sanguaza y desechos orgánicos de los barcos pesqueros) y otra exógena perimetral (las descargas de la Pesquera del Pacífico) (fig. 12). Al segundo se le documentó solo una causa endógena (zona de estancamiento).

Como apoyo a este inciso, se presenta un anexo fotográfico de salidas realizadas al puerto del Sauzal de Rodríguez los días 9, 16, 30 de marzo y 6 de abril de 2005 para documentar los usos perimetrales del puerto (Anexo).

6.1.3. El puerto de Ensenada como generador de impacto hacia la bahía, y como receptor de impactos proveniente de la misma

6.1.3.1. Representación espacial del trabajo de Gámiz-Ramírez (1997) reforzado por los datos de Carreón-Martínez *et al.* (2001 y 2002)

Esta representación se presenta en la figura 13. Examinando el puerto en su relación directa con la bahía, es posible identificarle como generador de probables impactos a las actividades de maricultivo y recreativas frente a Islas Todos Santos, y Estero Punta Banda, por inadecuada caracterización y disposición del material de dragado. Los metales pesados y organoestañados son el tipo de contaminantes documentados para los sedimentos del puerto; mercurio y plata, son reconocidos como elementos altamente tóxicos para invertebrados y algas marinas.

Asumiendo que 150 000-300 000 m³ de sedimentos son dragados regularmente en el puerto, con un promedio de densidad en los sedimentos de 2.6 g cm³, y usando el promedio de concentraciones de Hg y Ag asociado a pirita, se prevé la cantidad aproximada de Hg y Ag que puede potencialmente ser disuelta después de cada operación de dragado: 38±15 a 76±30 Kg. y 200±46 a 400±92 Kg., respectivamente.

6.1.3.2. Acumulación de anchoveta muerta, octubre de 2005

También se da el caso en que el puerto es receptor de impactos provenientes de la bahía. Es el caso de acumulación de anchoveta muerta en la terminal de cruceros turísticos ocurrido del 4 al 7 de octubre de 2005 (fig. 14).

Dos hipótesis se formulan como causales de la situación referida: la primera el accionar directo de la resuspensión de sedimentos contaminados provenientes del dragado en la desembocadura del Arroyo el Gallo, para la construcción de una nueva instalación portuaria; y la segunda la interacción de la primera con el fenómeno de marea roja, reportado entre el 2 de abril y el 4 de septiembre de 2005.

6.1.3.3. Tormenta extraordinaria, diciembre 2005

Otro caso en que el puerto es receptor de impactos provenientes de la bahía, es el de la tormenta extraordinaria, documentada el 23 de diciembre de 2005 (fig. 15).

La infraestructura portuaria se vio fuertemente afectada por la ocurrencia de este evento. La base de la nueva escollera de la empresa Amaya Curiel, fue arrasada por el impacto de las olas en un 80% de su infraestructura. Tres muelles de madera sufrieron severos daños: Juanitos, Fiesta Sport Fishing y otros que usan pescadores ribereños. Algunos navíos se desataron por el impacto de las olas.

6.2.- EVOLUCIÓN DEL PERÍMETRO INTERNO DEL PUERTO DE ENSENADA

Los análisis de contorno y de curvilinearidad, aplicados para evaluar la conformación del perímetro interno como posible causa coadyuvante en la permanencia de los contaminantes recibidos, mostró que el contacto de la interfase sólido-líquido evolucionó de una forma ligeramente cóncava a una fuertemente festoneada, y que el perímetro interno ha aumentado 211.3 % durante el desarrollo histórico del puerto.

6.2.1. Análisis de Contorno

El examen visual de la serie de imágenes muestra que el perímetro interno del puerto, como zona de contacto entre un elemento sólido y uno líquido (interfase sólida-liquida), pasó de un contacto cóncavo a uno festoneado (fig. 16).

Un primer momento, que considera a la bahía sin la existencia del puerto, arroja como resultado un tipo de contacto cóncavo (año 1935-1937 a). En un segundo momento, en el que se visualiza el origen del puerto, es posible apreciar la tendencia a complejizar el tipo de contacto cóncavo inicial (año 1935-1937 b). Un tercer momento (año 1951) describe un tipo de contacto finamente festoneado, que tiende a ganar complejidad (año 1965). Finalmente, en los últimos momentos de análisis (años 2001 y 2005) un nuevo tipo de contacto surge: contacto festoneado.

6.2.2. Análisis de Curvilinearidad

El índice de curvilinearidad presentó valores de 1.28 a 4 (de 3.3 Km. de distancia intersticial en el año cero, a 10.27 Km. para el año 2005). Esto es un incremento neto del 212.5%.

En términos generales, los valores del índice de curvilinearidad tienden a incrementarse en función de la cantidad de terrenos ganados al mar. No obstante un valor atípico de decremento fue identificado para el año 1972, cuando nuevos terrenos ganados al mar, en la porción sureste del puerto, dieron lugar a este resultado (fig. 17, Tabla II).

Tabla II. Análisis de curvilinearidad de un puerto.

Puerto de Inhabidos	Año	Distancia Intersticial (Km.)	Índice de Curvilinearidad
Sapóveda (2000)	1935-37 16 ^a	2.50	1.28
Sapóveda (2000)	1935-37 16 ^b **	2.50	1.40
Sapóveda (2000)	1951	2.50	1.51
Sapóveda (2000)	1965	2.50	2.00
Sapóveda (2000)	1972	2.50	1.17
Sapóveda (2000)	1980	2.50	2.50
Puerto Encarnada (2001)	2001	2.50	3.00
Puerto Encarnada (2005) y Fotografía aérea 2005	2005	2.50	10.27

* (a) Corresponde a medidas sin existencia del puerto.

** (b) Corresponde a medidas incluyendo los terrenos ganados al mar.