



Universitat de Girona

**INSTITUT DE MEDI AMBIENT
DOCTORAT DE COOPERACIÓ “GESTIÓN AMBIENTAL
Y DESARROLLO SOSTENIBLE”**

TESI DOCTORAL

***La utilización de técnicas matemáticas en la
evaluación económica ambiental; el caso de la
contaminación de la bahía de Cárdenas.***

Autora: MSc. Maritza Petersson Roldán

Matanzas, Girona 2005



Universitat de Girona

**INSTITUT DE MEDI AMBIENT
DOCTORAT DE COOPERACIÓ “GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE”**

***La utilización de técnicas matemáticas en la
evaluación económica ambiental; el caso de la
contaminación de la bahía de Cárdenas.***

**Memoria presentada
per Maritza Petersson Roldán
per a optar al grau de Doctor per la Universitat
de Girona. Programa
de doctorat "Gestión Ambiental y Desarrollo
Sostenible" del Institut de Medi
Ambient de la Universitat de Girona.**

Maritza Petersson Roldán

Dra. Mercedes Marrero Marrero

*La economía es simplemente una ecología miope,
nada puede ser económicamente justo
si no es ecológicamente válido.*

Konrad Lorenz, Premio Nobel de Medicina y Fisiología, 1973.

Indice

| | |
|---|-----|
| Introducción | 1 |
| Capitulo I. La evaluación económica de la contaminación marina. Técnicas matemáticas para lograrla | 8 |
| 1.1 El medio marino. Contaminación y sus efectos | 8 |
| 1.2 Situación en la zona costera | 14 |
| 1.3 La zona costera cubana | 17 |
| 1.4 Los problemas ambientales y la ciencia económica..... | 21 |
| 1.5 Técnicas matemáticas utilizadas en la valoración ambiental | 34 |
| 1.6 Modelación matemática de los sistemas económico - ecológicos | 41 |
| Capítulo II. Propuesta metodológica para la evaluación económica del efecto de la contaminación de la Bahía | 52 |
| 2.1 Procedimiento metodológico | 54 |
| 2.2 Los métodos multicriterio discretos | 61 |
| 2.2.1 El Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) | 63 |
| 2.2.2 El Método NAIADE | 68 |
| Capítulo III. Evaluación de los efectos de la contaminación en la bahía de Cárdenas | 74 |
| 3.1 Diagnóstico socio económico ambiental | 74 |
| 3.1.1 Breves aspectos históricos de la ciudad de Cárdenas | 75 |
| 3.1.2 Situación socioeconómica ambiental de la ciudad de Cárdenas | 76 |
| 3.1.3 Caracterización Físico Geográfica de la Bahía de Cárdenas | 80 |
| 3.1.4 Geomorfología, Paisajes y usos del litoral de la bahía de Cárdenas | 81 |
| 3.2 Valoración económica del efecto de la contaminación | 94 |
| 3.2.1 Identificación de los bienes y servicios de la bahía | 94 |
| 3.2.2 Determinación de los bienes y servicios más afectados por la contaminación | 96 |
| 3.2.3 Medición económica del efecto de la contaminación | 97 |
| 3.2.4 Disminución de los niveles de captura | 99 |
| 3.2.5 Afectaciones de la playa y de las actividades recreativas | 109 |
| 3.3 Evaluación de alternativas de reducción de contaminación | 125 |
| 3.3.1 Aplicación del modelo propuesto en el epígrafe 1.6 | 125 |
| 3.3.2 Definición de las alternativas de reducción | 128 |
| 3.3.3 Definición de los criterios para la valoración de las alternativas | 131 |
| 3.3.4 Aplicación del proceso de agregación de criterios del NAIADE | 138 |
| Conclusiones | 141 |
| Recomendaciones | 143 |
| Bibliografía | 144 |

Introducción:

La protección del medio ambiente constituye una de las tareas de mayor prioridad a escala mundial, justificado por el hecho de que la perpetuidad de la vida está sujeta a la existencia saludable del medio donde ella surge y se desarrolla. Múltiples son los temas debatidos acerca del deterioro ambiental y entre ellos los referidos a la disponibilidad de los recursos naturales, la cual peligra por la explotación inadecuada de los mismos que conlleva a su agotamiento y contaminación. El control, detención o reversión de los daños consecuentes de ese mal uso, tiene un costo económico que las sociedades deberán absorber en su proceso de desarrollo sustentable. Esto hace muy útil los análisis de valoración del medio ambiente y los recursos naturales, pues con ello es posible fundamentar las decisiones con respecto al manejo del ambiente y sus recursos. Estos análisis no deben realizarse desde una óptica reduccionista, considerando únicamente la dimensión económica, sino que debe incorporarse otras aristas, reconociéndose de ese modo el carácter plural del valor de la naturaleza.

En la actualidad los océanos representan el lugar donde se concentra la mayor biomasa de la tierra, constituyendo una importantísima fuente de alimento para la humanidad, contienen enormes reservas de combustibles y minerales, de energía geotérmica e hidráulica y tiene un papel insustituible en el transporte de carga entre continentes e islas, además de contribuir de manera significativa en la regulación del clima. Lo dicho reafirma la importancia de los océanos para la supervivencia de la humanidad. No obstante, los mares y océanos son también víctimas del desafuero de los hombres, de manera que sus cualidades se ven afectadas por la contaminación marina, la sobreexplotación de los recursos biológicos marinos y la pérdida de hábitat costeros.

La degradación marina y costera es producto de la creciente presión ejercida sobre los recursos naturales tanto terrestres como marinos y sobre el aprovechamiento de los océanos como depósito de desechos. El crecimiento demográfico y el incremento cada vez mayor de la urbanización, la

industrialización y el turismo en zonas costeras son causas fundamentales de esta presión que va en aumento.

Entre los accidentes geográficos más apreciados en la Isla de Cuba se encuentran sus bahías, las que por ser mayormente abrigadas y profundas, constituyen valiosos recursos naturales del país (Universidad para todos, 2002). Ellas se encuentran amenazadas por la creciente urbanización en las zonas que las rodean, donde se desarrollan actividades socioeconómicas que en muchas ocasiones desestabilizan el funcionamiento natural de las mismas.

La contaminación de las aguas de las bahías por fuentes contaminantes terrestre es uno de los ejemplos más frecuentes de agresión a los ecosistemas costeros, lo que provoca el progresivo deterioro del valor de las mismas. La evaluación del efecto económico de esta contaminación contribuye al análisis y toma de decisiones referente a las acciones de desarrollo en esas zonas.

Para lograr una correcta evaluación es necesario el uso de diferentes herramientas económicas y matemáticas que permitan considerar todas las dimensiones que los sistemas económicos- ecológicos contemplan.

El presente trabajo propone el siguiente diseño investigativo para su desarrollo:

Problema:

La no utilización de técnicas matemáticas en la evaluación económica ambiental en Cuba dificulta el proceso adecuado de toma de decisiones del uso y manejo de las bahías.

Hipótesis:

La aplicación adecuada de técnicas matemáticas en la evaluación económica ambiental permite generar información útil al proceso de toma de decisiones referente a la recuperación y conservación de las bahías.

Objetivo General:

- Evaluar económicamente los principales efectos de la contaminación en la bahía de Cárdenas, auxiliándose de técnicas matemáticas.

Objetivos Específicos:

- Aplicar en las condiciones económicas cubanas técnicas matemáticas y de valoración económica en la evaluación del efecto de la contaminación ambiental.
- Valorar económicamente los principales efectos de la contaminación de la bahía de Cárdenas.
- Evaluar alternativas de reducción de contaminación a la bahía, a partir de un enfoque multicriterio.

VARIABLES A UTILIZAR:

- Calidad de las aguas marinas
- Volumen y captura de especies
- Indicadores económicos de la actividad productiva
- Costo de tratamiento de residuales

MÉTODOS DE TRABAJO CIENTÍFICO:

- Métodos generales: El método hipotético-deductivo para la elaboración de la hipótesis central de la investigación; el método histórico lógico y el dialéctico para el estudio crítico de la bibliografía y extraer aspectos positivos de ella.
- Métodos empíricos: El método coloquial para la presentación y discusión de los resultados en seminarios científicos, método de expertos y entrevistas para la estimación de parámetros no medibles experimentalmente.
- Métodos de valoración económica ambiental para valorar el efecto económico de la contaminación de la bahía.
- Métodos matemáticos: El método lógico-matemático para la modelación del nivel de la contaminación orgánica de la bahía, los métodos estadísticos para determinar las variables influyentes en la disposición a pagar, el

método multicriterio NAIADE para evaluar posibles alternativas de reducción de la contaminación en la bahía.

Marco teórico de la investigación

Existen diferentes criterios y puntos de vista acerca de la valoración económica de los impactos sobre el medioambiente, están los que intentan incorporar más Naturaleza a la esfera de la valoración económica para resolver dentro de ella los problemas ambientales en términos de costo-beneficio, para ello extienden la noción de utilidad sobre bienes antes no considerados útiles, enfrentando el problema de cómo medirla. Existen otros enfoques donde se busca establecer conexiones teóricas entre sistemas ecológicos y los económicos (Constanza, 1989), integrándose en ellos la relación hombre naturaleza. La teoría económica ha desarrollado diferentes corrientes de pensamiento económico, como son la economía ambiental y la economía ecológica, que sustentan los enfoques mencionados anteriormente.

El uso de tecnologías atrasadas, así como los deficientes o carentes sistemas de alcantarillados y de tratamientos de aguas residuales, han contribuido a acentuar los problemas de contaminación en nuestro país, provocando impactos negativos sobre el entorno. En la mayoría de los casos se desconoce el efecto económico de los mismos, lo cual da al traste con la voluntad de tomar la mejor decisión en los planes de desarrollo del país.

Es necesario analizar el entorno donde se desarrolla la actividad económica y social del hombre, de ahí la importancia de realizar estudios en los cuales se apliquen diferentes técnicas y métodos de análisis económico, que permitan llegar a una valoración. Este enfoque socioeconómico-ambiental, se considera esencial para entender como se generan los problemas de contaminación ambiental en una región y las medidas tendentes a resolverlos o mitigarlos. (Marrero, 2002)

La matemática nacida en el intento de explorar las armonías y recurrencias del mundo físico se constituye como ciencia, aportando un método de pensamiento, que proporciona las herramientas que posibilitan el acceso del conocimiento humano a los fenómenos que son de interés al hombre.

Es por ello que muchos campos del saber se interrelacionen estrechamente a la matemática, al proponerle nuevos retos que estimulan la elaboración de nuevas herramientas para su tratamiento. Las ciencias económicas es una de las beneficiadas con el herramental aportado por la matemática.

Los ejercicios de valoración económica ambiental exigen el uso de las técnicas matemáticas para llevar a vía de acción los métodos de valoración aportados por la teoría económica; además de posibilitar la representación de los componentes de los sistemas con sus interrelaciones, facilitando una mejor comprensión del fenómeno a evaluar.

La Estrategia Ambiental Nacional, en Cuba, indica los principios, vías, acciones e instrumentos para la protección del medio ambiente, a partir de la identificación de los principales problemas ambientales que afectan el país. A pesar de las limitaciones de los recursos, se trazan estrategias para el desarrollo que contribuyan a mejorar el entorno, con vista a preservar la biodiversidad y a enfrentar los cambios climáticos.

En la Provincia de Matanzas se han realizado estudios acerca del impacto de la contaminación ambiental, por un grupo de especialistas, para reducir los efectos de la misma en el territorio. Según la Estrategia Ambiental Provincial, la contaminación de la bahía de Cárdenas es uno de los principales problemas ambientales que afectan la provincia.

El desarrollo de esta investigación se enmarca dentro de los intereses de estos estudios lo que representa un importante aporte a los mismos.

Novedad científica

La evaluación económica del efecto de la contaminación integrando las dimensiones ambientales, sociales y económicas a través de las técnicas multicriterio, permite obtener un ordenamiento de las alternativas de solución al problema ambiental estudiado, posibilitando la correcta decisión, lo que significa un salto cualitativo en la integración de las técnicas matemáticas de ayuda a la toma de decisiones en sistemas complejos, contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente de la localidad.

Valor práctico

Los resultados de la evaluación del efecto de la contaminación en la bahía de Cárdenas serán de especial utilidad a las autoridades del territorio, pues constituyen una información científicamente fundamentada que les ayudará a establecer alternativas que favorezcan el desarrollo sostenible de la región.

El desarrollo de esta investigación fue organizado a través de un procedimiento metodológico creado con un enfoque integrador de las dimensiones sociales, económicas y ambientales, que puede ser extrapolado al estudio del efecto económico de la contaminación de otras bahías del país, lo que le concede al trabajo un valor metodológico.

Resultados

- Definición de los bienes y servicios de la bahía, precisando los más sensibles a los efectos de la contaminación.
- Valoración monetaria del efecto de esta contaminación considerando algunos bienes y servicios brindados por la bahía.
- Evaluación de variantes de reducción de contaminación con un enfoque integrador de las dimensiones económica, social y ambiental a través de técnicas multicriterio.

Estructura de los capítulos

El documento se estructuró en tres capítulos; en el primero se revisa la bibliografía con respecto a la contaminación marina, sus efectos y consecuencias económicas. Se comenta el comportamiento de este fenómeno en Cuba, lo cual justifica la necesidad de evaluar el efecto económico de la misma, mostrándose la importancia de las técnicas matemáticas y de modelación como herramientas de apoyo a las técnicas de valoración económica.

En el segundo capítulo se expone el procedimiento metodológico seguido en el desarrollo de la investigación, precisando algunos detalles de los métodos utilizados en el mismo.

El tercer capítulo recoge los resultados de la investigación desarrollada, quedando definidos los bienes y servicios aportados por la bahía de Cárdenas, se valora el efecto de la contaminación sobre algunos de ellos, y se da un orden de las alternativas de reducción de la contaminación actual en esta bahía.

Capitulo I. La evaluación económica de la contaminación marina. Técnicas matemáticas para lograrla.

1.1 El medio marino. Contaminación y sus efectos.

Los océanos y las costas del planeta han jugado un rol significativo en el desarrollo de la sociedad, de hecho, sin los océanos la vida no existiría en nuestro planeta (Naciones Unidas, 2002), sin embargo, pocas son las reflexiones respecto a la posibilidad de su agotamiento, así como a la evaluación económica del efecto de ese agotamiento. La disminución de las capacidades de los océanos y las costas tiene carácter multifactorial, pero se destaca los niveles de contaminación a que son sometidos en la actualidad.

Los océanos siempre fueron vistos como cuerpos de agua que por sus dimensiones eran imposible de explotar y mucho menos profanar. Sin embargo son tan vulnerables, como otros sistemas naturales, a las presiones que actualmente está sometido el planeta: acelerado crecimiento demográfico, expansión industrial, aumento del consumo y la pobreza.

El medio marino constituye alrededor del 90 % del hábitat mundial. Los mares cubren cerca del 71 % de la superficie terrestre, constituyendo el 97 % del agua de la Tierra. (Weber, 1994)

Las teorías sobre el origen de la vida en la Tierra, afirman que la misma comenzó en los mares, esto le da una especial connotación al océano; pero que se ubica lejos en el tiempo. Sin embargo otros argumentos demuestran la importancia de los mares y refuerzan la opinión de que los mares constituyen el timón ecológico de la biosfera. Estos argumentos son dados a través de las funciones que desempeñan: (Weber, 1994)

- Regulación del clima.
- Producen de un tercio a la mitad del aporte global de oxígeno, absorbiendo anhídrido carbónico (gas de efecto invernadero) a través de un mecanismo que se conoce como bombeo biológico.

- Aportan 80 millones de toneladas de alimentos marinos al año, representando a escala mundial el 16 % del consumo de proteína animal.
- Fuente de material biológico y productos únicos. Aportando un banco marino de genes de gran importancia científica, al considerar que el 90 % de la historia de la vida en la Tierra se ha desarrollado en aguas saladas. Además de constituir una fuente de medicamentos.
- Conservación de la biodiversidad. Aportando hábitat para poblaciones residentes y migratorias.
- Regulación trófica de poblaciones.

El mar en su apariencia, parece ser igual en todas sus partes, sin embargo no constituye un cuerpo de agua homogéneo al abarcar muchos y diferentes hábitats, que van desde las llanuras glaciales y cadenas montañosas situadas a miles de metros bajo el nivel del mar, hasta los arrecifes coralinos en aguas litorales. Las variables que determinan la composición biótica y las características ecológicas de las diferentes zonas son:

- Luz y profundidad
- Temperatura
- Presión
- Oleaje
- Corrientes
- Mareas
- Composición química (salinidad, gases, nutrientes)
- Turbidez y sedimentación
- Tipo de fondo (substrato)
- Dispersión y migración
- Alimento
- Relaciones tróficas (depredación – competencia)
- Proximidad de las masas terrestres

El desarrollo de actividades humanas en determinadas áreas altera el equilibrio natural de estos factores, lo cual puede exacerbar el efecto de alguno o algunos

de ellos, con la consecuente variabilidad del medio ambiente marino. Una de las fuentes de alteración de este equilibrio es la contaminación marina, la cual ha sido definida por La Organización de las Naciones Unidas como: " la introducción por el hombre en el medio marino (directa o indirectamente), de sustancias o energías que puedan ocasionar consecuencias nefastas, tales como daño a los recursos biológicos y por consiguiente a la salud humana, trabas a las actividades marítimas, incluyendo la pesca, disminución en la calidad del agua del mar desde el punto de vista de su utilización, y reducción de las posibilidades ofrecidas para el descanso."

Esta contaminación proviene de actividades humanas materializadas en vertimientos directos e indirectos de aguas residuales urbanas e industriales y provenientes de la actividad agrícola. Puede estar originada por agentes biológicos o sustancias químicas, entre las que se encuentra:

- Contaminantes producidos por los nutrientes nitrógeno y fósforo.

Una elevada contaminación de estos nutrientes provocan alteraciones en el proceso de crecimiento de las algas marinas; dentro de las principales industrias que pueden ser fuentes contaminantes se encuentran: las industrias de productos fertilizantes, industrias de explosivos y las industrias de fibras sintéticas.

- Contaminantes producidos por sustancias alcalinas o ácidas.

Afectan a microorganismos que solo pueden llevar sus funciones de biodegradación dentro de un intervalo de Ph determinado.

- Contaminantes constituidos por agentes patógenos.

Bacterias, hongos, virus etc. Estos microorganismos pueden causar infecciones en el hombre y en las poblaciones terrestres y marinas. Entre las principales industrias contaminantes se pueden encontrar, las industrias alimentarias, industrias de la lana, industrias farmacéuticas, etc.

- Contaminantes producidos por residuos radioactivos.

Acarrea serias consecuencias para el hombre como el cáncer o malformaciones fetales. Entre los principales focos contaminantes podemos encontrar, las actividades nucleares, la minería, así como vertidos de laboratorios y hospitales.

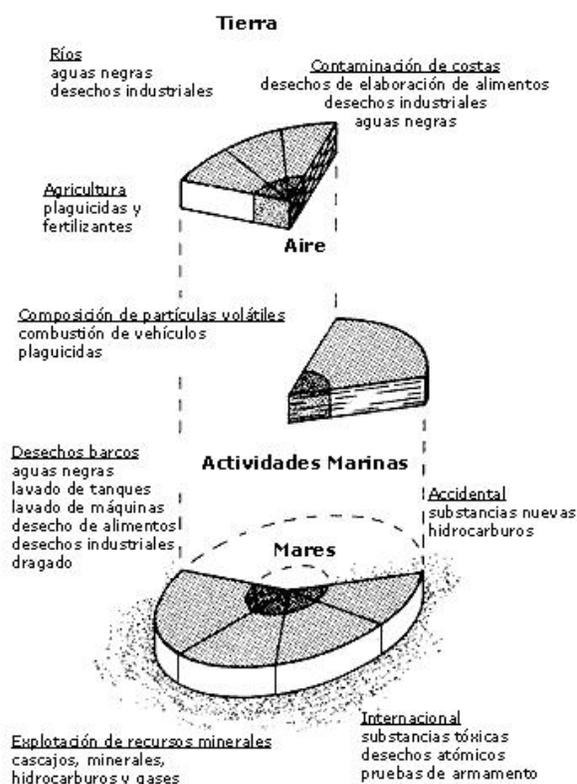
Alrededor de las tres cuartas partes de la contaminación que acaba en los mares de todo el mundo proviene de la actividad humana en la tierra, cosa que se ve reflejada en la tabla 1.1 y en la figura 1.1:

Tabla 1.1 Fuentes de contaminación marina

| Fuente | Porcentaje total (%) |
|-----------------------------------|----------------------|
| Vertidos y descargas desde tierra | 44 |
| Emissiones por aire desde tierra | 33 |
| Derrames accidentales y de barcos | 12 |
| Vertidos directos al mar | 10 |
| Minería, petróleo y gas en costas | 1 |

Fuente: Tomado de Weber,1994

Fig. 1.1 Diversidad de contaminantes



Fuente: Cifuentes y col, 1991

Los diferentes contaminantes de las aguas marinas se ajustan a la clasificación presentada en (Llanes, 1999), la cual se propone en cuanto a los criterios de:

- Degradación. Si son susceptibles o no a su transformación por el medio acuático en sustancias no nocivas a él.
 - Biodegradables
 - No biodegradables
- Tiempo de residencia. Considera el tiempo que permanece en el medio receptor el contaminante después que ha cesado su emisión desde la fuente.
 - Acumulativos
 - No acumulativos
- Localización. Se refiere a la ubicación de la fuente que les da origen.
 - Puntuales
 - No puntuales
- Ocurrencia. Frecuencia con que ocurre la descarga.
 - Continuas
 - Esporádicas

La presencia de contaminantes en los mares trae serias consecuencias en los ecosistemas marinos, entre las que pueden citarse: (Ayala, et Al, 1999)

- La contaminación del banco de genes generada por la introducción de especies foráneas a través de los tanques de lastre de buques que atraviesan los océanos, lo que obliga al desplazamiento de especies autóctonas, además de reducir la diversidad del lugar.
- Afectación del hábitat de ciertas comunidades, en términos de reposo, alimentación o refugio.
- Reducción de especies valiosas.
- Aislamiento de especies.
- Alteración de las cadenas alimentarias.
- Alteración de los ciclos de reproducción.
- Ruptura de vías migratorias.

En aguas contaminadas las especies son reemplazadas por asociaciones de larvas y gusanos, creando el lugar propicio para el desarrollo de algas de tipos azul verdosas, propias de aguas turbias y contaminadas, que cubren las piedras de los márgenes, haciéndolos resbaladizos y mal olientes. (Ramalho, 1996)

Estas aguas contaminadas también ponen en peligro la salud de las personas que toman baños en esas zonas, además de aquellas que ingieren alimentos marinos contaminados. En la siguiente tabla se muestran algunas de las causas y efectos de la contaminación marina debido a la presencia de diferentes tipos de contaminantes.

Tabla 1.2 Causas primarias y efectos de la contaminación marina

| Tipo | Origen/causa primaria | Efectos |
|---|---|--|
| Nutrientes | Procedencia: aproximadamente la mitad, de aguas residuales; la otra mitad, de actividades forestales, agricultura y otros usos del suelo; también tóxicos de nitrógeno de centrales eléctricas, automóviles, etc. | Formación de aglomeraciones de algas litorales. Las algas en descomposición empobrecen el agua de oxígeno, con lo que aparecen otras especies vivas. Pueden producirse formaciones de algas tóxicas (mareas rojas) que liberan productos tóxicos al agua capaces de causar mortandad de peces y envenenamientos de personas. |
| Sedimentos | Erosión por actividades mineras, forestales, agrícolas, otros usos del suelo; actividades mineras y dragados de las costas | Enturbian el agua; impiden la fotosíntesis bajo la superficie acuática; estorban el libre movimiento de peces al dificultar el aleteo; asfixian y sepultan ecosistemas costeros; acarrear productos tóxicos y excesos de nutrientes. |
| Patógenos | Aguas residuales; ganadería | Contaminan zonas de natación en costas y a pescados comestibles provocando cólera, fiebre tifoidea y otras enfermedades. |
| Productos Químicos (PCBs, DDT, metales pesados) | Vertidos industriales; aguas residuales de centros urbanos; plaguicidas agrícolas, forestales y de uso casero, etc; escapes de tierras removidas | Envenenan o provocan enfermedades a la flora y la fauna del litoral. Contamina el pescado comestible. Productos tóxicos solubles en grasas que se acumulan en predadores. |
| Petróleo | EL 46 % son fugas de automóviles, maquinaria pesada, industrias y otras fuentes; el 32 % de buques cisterna y otro transporte marítimo; el 13 % de accidentes en el mar; también prospecciones petrolíferas cerca de las costas y filtraciones naturales. | La contaminación de bajo nivel puede dar lugar a mortandad de larvas y enfermedades de flora y fauna marinas. Los escapes de petróleo matan la vida marina, especialmente de hábitats costeros. Los coágulos de alquitrán ensucian playas y sus hábitats.. |

| | | |
|-------------------|--|---|
| Especies intrusas | Son varios miles de especies las que pululan en las aguas de los tanques de lastre; también en canales de comunicación entre masas acuáticas proyectos de modernización de pesquerías. | Compiten por el espacio vital con especies autóctonas y reducen la biodiversidad marina. Introducen nuevas enfermedades marinas. Influyen en la mayor incidencia de mareas rojas y otras acumulaciones de algas |
| Plásticos | Redes de pesca; buques de carga y pasaje; desechos de fábricas de plásticos y movimientos de tierras | Los aparejos de pesca continúan atrapando peces. Otros desechos de plástico se enredan en animales y plantas marinos o se confunden con pescado comestible. Ensucian playas y costas. Pueden persistir de 200 a 400 años. |

Fuente: Woldwatch Institute, 1994.

Entre los recursos valiosos para el mantenimiento y desarrollo de la humanidad se destacan aquellos derivados de los bosques tropicales y de las zonas costeras y humedales, pues los ecosistemas asociados a ellos son los de mayor productividad biológica del planeta, sin embargo, paradójicamente son tierras consideradas de bajo valor económico, por su baja productividad agrícola. Esto ha provocado que las zonas costeras estén seriamente dañadas, debido a las malas decisiones en cuanto al uso y manejo de las mismas.

Además, las aguas costeras son el sumidero final de todas las descargas terrestres (Clark, 1995), se puede entonces concluir que una gran parte de la contaminación mundial termina en las lagunas costeras, estuarios, humedales, pastos marinos y arrecifes coralinos.

Gran parte de estos contaminantes son retenidos en las aguas y sedimentos de sistemas como estuarios, bahías, playas o aguas costeras abiertas. El resto pasa a través de esta "frontera" y es transportado al mar abierto. De esta forma los ecosistemas costeros actúan como filtros que retienen y acumulan muchos de los contaminantes terrestres; lo cual significa que las zonas y aguas costeras presentan una contaminación mayor que las aguas oceánicas.

1.2 Situación en la zona costera.

A lo largo de la historia, la zona costera ha sido un centro importante de desarrollo de la sociedad humana. La utilización del mar para el transporte y el comercio y la

obtención de alimento abundante en aguas costeras muy productivas, son factores determinantes para el asentamiento de poblaciones en las zonas costeras.

Las zonas costeras siguen teniendo un potencial enorme para la sociedad moderna. La productividad de las lagunas costeras, ensenadas, marismas y estuarios desempeña un papel importante en la producción de alimentos (al mantener zonas de pesca y acuicultura) y en la protección de la naturaleza y la biodiversidad. Sin embargo, las zonas costeras, en la mayoría de los continentes, se enfrentan con problemas graves de destrucción del hábitat, contaminación del agua, erosión de la costa y agotamiento de los recursos. Este agotamiento de recursos limitados, además de la escasez del espacio físico, está dando lugar a conflictos cada vez mayores entre los distintos usos del agua.

Por tratarse de un sistema natural dinámico y complejo, las zonas costeras están sujetas a las fuerzas de las corrientes, de los flujos de sedimentos y de tormentas frecuentes. De acuerdo con el análisis realizado por el Instituto Mundial de Recursos (WRI, 2001) cerca del 30 por ciento del territorio adyacente a los ecosistemas costeros del mundo ha sido alterado o destruido debido principalmente a la creciente demanda por terrenos que luego son destinados a la construcción de casas, a la industria y a la recreación.

Se estima que más de 70 mil productos químicos sintéticos han sido descargados en los océanos del mundo. Sólo un pequeño porcentaje de ellos ha sido monitoreado, y éste corresponde a aquellos relacionados con la salud humana y no con el impacto ecológico.

En los últimos 50 años se ha perdido cerca del 85 por ciento de los manglares de Tailandia, Filipinas, Pakistán, Panamá y México. A nivel global, la pérdida de estas zonas húmedas tropicales, que son particularmente ricas en biodiversidad, alcanza cerca del 50 por ciento. El explosivo aumento de algas dañinas en las costas de Estados Unidos ha implicado, desde 1991, cerca de 300 millones de dólares en pérdidas debido a la muerte masiva de peces, problemas de salud pública y disminución del turismo.

Se ha detectado que el aumento de especies foráneas en las zonas costeras interrumpe la cadena alimenticia al eliminar a las especies nativas. En los últimos años se ha identificado 480 especies invasoras en el Mediterráneo, 89 en el Mar Báltico y 124 en aguas australianas.

El problema biofísico fundamental de la zona costera radica en que el desarrollo no se contiene en los límites de las capacidades ambientales locales. Algunas de las manifestaciones más comunes de este problema son las siguientes: (M.Sommer, 2000)

a) Erosión costera extendida, a menudo exacerbada por una infraestructura humana inadecuada (incluida la infraestructura destinada a la defensa costera) y un desarrollo demasiado próximo al litoral. Las obras de ingeniería en algunas zonas portuarias han contribuido a acelerar la erosión del litoral adyacente por no tener debidamente en cuenta los procesos y la dinámica de la costa.

b) Destrucción del hábitat, como consecuencia de una construcción y ordenación territorial poco planificadas o de la explotación del mar.

c) Pérdida de biodiversidad, incluido el declive de las poblaciones de peces en la costa y en alta mar, debido al deterioro de las zonas costeras de desove.

d) Contaminación del suelo y de los recursos hídricos, en la medida en que la contaminación de las fuentes marinas o interiores, incluidas los vertederos, se desplazan hacia el litoral. En algunos lugares la contaminación fluvial derivada de la escorrentía de las tierras agrícolas, cultivadas río arriba, está afectando la calidad de las aguas costeras.

e) Problemas en cuanto a la calidad y cantidad de agua, dado que la demanda supera el suministro o la capacidad de tratamiento de las aguas residuales. La intrusión de agua salada debida a la explotación excesiva de los acuíferos costeros es un problema importante en muchos países con costas. El deterioro de los acuíferos suele desembocar en una reducción permanente de los recursos hídricos disponibles.

La zona costera del Archipiélago cubano, no escapa de las condiciones que internacionalmente han provocado problemas de carácter ambiental en estas áreas; en el epígrafe siguiente se presenta una breve descripción de la zona costera cubana.

1.3 La zona costera cubana.

El Archipiélago Cubano está situado al noroeste del Mar Caribe, entre la América del Norte, la América Central y la América del Sur. Presenta cuatro vías de interconexión con la región: el Canal de Yucatán, el Estrecho de la Florida, El Canal Viejo de Bahamas y el Paso de los Vientos. Está integrado por la Isla de Cuba, la Isla de la Juventud y más de 4000 cayos y cayuelos. La longitud total de sus costas alcanza la cifra superior a los 6000 km en todo el archipiélago (5746 km para la Isla de Cuba y 229 para la Isla de la Juventud) y su superficie asciende a 110860 km² (104945 km² para la Isla de Cuba). Posee una plataforma insular de aguas someras, con seis a ocho metros de profundidad promedio.

La isla de Cuba tiene una longitud aproximada de 1 200 km, con un ancho máximo de 191 Km en la región oriental y un ancho mínimo de 31 km en su región occidental, por lo que el espacio costero es prácticamente toda la isla y, en consecuencia, su población es casi totalmente costera. Los puntos excepcionales más alejados al mar se encuentran a una distancia máxima aproximada de 60 km de la línea de costa. Del total de la población actual estimada en 11,2 millones de habitantes, existen 245 asentamientos humanos que totalizan 3.5 millones de habitantes (incluyendo Ciudad de La Habana) en una franja de solo unos pocos kilómetros. (Universidad para todos, 2002). Estas características hacen que el cuidado y protección de las costas cubanas sea una tarea priorizada dentro de la estrategia ambiental.

El Archipiélago cubano posee una amplia variedad de ecosistemas marinos y costeros, que al evaluar sus características, recursos y aportes como parte de la zona costera, evidencia la importancia ecológica de la misma, debido a que:

- Es asiento de la casi totalidad de los recursos de la biodiversidad del país.

- Aporta elementos vitales para la reproducción, cría y alimentación de valiosas especies comerciales.
- Aporta elementos energéticos indispensables al medio marino.
- Posee estructuras de defensa natural de las costas.
- Es fuente de recursos vivos y no-vivos.
- Sus áreas son de alto valor para el desarrollo socioeconómico del país.

Todo ello condiciona el amplio uso, que desde épocas remotas, ha tenido la zona costera. En muchas ocasiones este uso se ha hecho sin considerar la fragilidad de estos espacios, lo que ha provocado un evidente deterioro de la misma.

Salvo algunos puntos muy bien localizados en la geografía del Archipiélago, la magnitud de los problemas ambientales marino costeros no alcanza categoría nacional (Universidad para todos, 2002). Sin embargo son motivo de una estrecha y rigurosa atención por parte de las instituciones encargadas de tales efectos, las que se ven apoyadas y complementadas por varios factores, como son: el nivel escolar de la población, el desarrollo científico alcanzado, el desarrollo planificado de la economía y los programas de educación ambiental.

A continuación se muestran algunos de los problemas en el medio marino costero del Archipiélago cubano, así como sus causas y ubicación.

Tabla 1.3 Ejemplos de problemas específicos, causas y áreas de afectaciones al medio marino costero del Archipiélago cubano.

| Problemas específicos | Causas | Lugares/Áreas |
|---|--|---|
| Contaminación en bahías | Insuficiente cobertura de tratamiento de residuales, aumento de tráfico marítimo. | Bahía de la Habana, Cienfuegos, Cárdenas, Santiago de Cuba, Nuevitas y Matanzas |
| Disminución de pesquerías en lagunas costeras | Contaminación | Costa Sur en general |
| Disminución de pesquerías en plataforma insular | Aumento de salinidad; sobre-explotación; degradación de hábitat; crecimiento no regulado del esfuerzo pesquero | Golfo de Batabanó; Golfo de Ana María; Golfo de Guacanayabo; Archipiélago Sábana-Camagüey |
| Disminución de la pesca de camarones | Degradación del hábitat; represamiento de ríos; contaminación | Ensenada de la Broa; Golfo de Ana María; Golfo de Guacanayabo |
| Cambios de estructura de comunidades de peces | Sobre-pesca | Golfo de Batabanó |
| Erosión de playas | Construcciones costeras; deforestación; cambios climáticos | 137 playas afectadas (de 337 identificadas). Ritmo de erosión |

| | | |
|---|--|--|
| | | 1.2m/año |
| Aumento de salinidad en aguas someras | Sequías; represamiento de ríos; construcciones costeras; carreteras sobre el mar | Lagunas costeras del Sur de Cuba; aguas someras Archipiélago Sábana-Camagüey |
| Mortalidad de manglares | Aumento de la salinidad; disminución de nutrientes | 30 % del total nacional (aproximado) |
| Pastos marinos degradados | Aumento de la salinidad; cambios en flujos de agua | Archipiélago Sábana-Camagüey |
| Blanqueamientos de corales | Aumento de la temperatura del mar (el niño 97-98) | Playa Herradura; Playa Varadero; Santiago de Cuba |
| Afectaciones generales a los arrecifes de coral | Cambios climáticos; contaminación; turismo náutico | 3% a escala nacional |
| Penetraciones e inundaciones de mar | Cambios climáticos; ciclones; frentes fríos; eventos meteorológicos extremos | 245 asentamientos poblacionales, incluyendo la Habana |
| Ascenso de la cuña salina | Cambios climáticos; aumento del nivel del mar; sequías prolongadas | Zona costera sur Habana |
| Pérdida de superficie terrestre | Elevación del nivel del mar (30-100cm/año 2100) | Pérdida de cayos interiores en Golfo de Batabanó, Ana María y Guacanayabo. Inundación del 60-80% del área de la Ciénaga de Zapata. Inundación del 3.5% del área total del país |

Fuente: Universidad para todos, 2003

Cuba es un país en desarrollo sometido a una compleja situación económica; la decisión de lograr sostenibilidad sin degradar el medio, a pesar de las carencias financieras y materiales, es indispensable, pero de difícil consecución. Los cubanos actuales heredaron un país con los recursos naturales saqueados y arrastra la carga de posteriores políticas económicas despilfarradoras.

La voluntad política de revertir esta situación existe, pero debe vencer obstáculos de muchos tipos, además de los puramente medioambientales: (García, 2001)

- Los escasos recursos financieros.
- La insuficiente interpretación económica de los beneficios medioambientales.
- La falta de conocimiento sobre los instrumentos necesarios para demostrar esos beneficios.
- Poca conciencia existente en funcionarios y empresarios sobre la importancia del vínculo economía y medio ambiente.

En el país se llevan a cabo un conjunto de acciones de manera multidisciplinaria con el objetivo de garantizar la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, materializadas a través de instrumentos de gestión, como son:

- La Ley # 81 de 1997 de Medio Ambiente y demás regulaciones legales destinadas a la defensa del medio ambiente. Vinculadas con el mar y las costas se encuentran: la Ley de Pesca emitida en 1996, Ley del Sistema Nacional de Areas Protegidas de 1999 y la Ley de Gestión de la Zona Costera del 2000.
- El programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo.
- El Ordenamiento Ambiental.
- El Sistema de Información Ambiental.
- El fondo Nacional de Medio Ambiente.

La Estrategia Ambiental Nacional en Cuba indica los principios, vías, acciones e instrumentos para la protección del medio ambiente, a partir de la identificación de los principales problemas ambientales que afectan al país. La misma se alimenta con los resultados científico-técnicos obtenidos en los diferentes programas nacionales de investigación que se desarrollan, fundamentalmente, en diferentes instituciones científicas del país, referida a la temática relacionada con el mar, pueden destacarse: el Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de La Habana, el Centro de Investigaciones Pesqueras, el Instituto de Oceanología, el Centro de Manejo Ambiental de Bahías y Zonas Costeras, el Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros, el Grupo Empresarial Geocuba, el Acuario Nacional de Cuba, así como universidades y organismos que realizan estudios vinculados con los asuntos marinos y costeros, generalmente de carácter local.

Un elemento importante en la atención de los asuntos relacionados con las costas y su manejo lo es el Sistema Nacional de Areas Protegidas. Este sistema cubre aproximadamente el 22% del territorio nacional y está conformado por las áreas de mayor relevancia ecológica, social e histórico-cultural de la nación. Entre ellas se han identificado 50 sitios como áreas marino costeras protegidas en sus diferentes categorías.

En la actualidad en que el medio ambiente, incluyendo el medio marino – costero, muestra claro signos de degradación, no se trata de tomar libremente los recursos

que él aporta, sino de administrarlos a través de planes de manejos que garanticen el desarrollo de la sociedad sin detrimento de las condiciones del medio ambiente. Para la elaboración de dichos planes se requiere de sólidas bases científicas que fundamenten las decisiones a tomar. Tales decisiones deben considerar factores ambientales, sociales y económicos, lo cual exige una adecuada evaluación de los efectos económicos de las acciones del hombre en la naturaleza.

1.4 Los problemas ambientales y la ciencia económica.

La Economía constituida como ciencia en el siglo XVIII, con su sistema de categoría define su objeto de estudio como la administración de los recursos (escasos) con el objetivo de producir bienes y servicios y distribuirlos para su consumo entre los miembros de la sociedad. (Hauwermeiren,1998)

En esta definición queda claro el interés de los sistemas económicos en el crecimiento de la producción, para lo cual necesita del uso de los recursos que a última instancia provee el medio ambiente.

Al analizar la historia del pensamiento económico puede constatarse como en la reflexión de los economistas del siglo XVIII, llamados fisiócratas, se consideraba el crecimiento en correspondencia con el mundo físico, de ello da constancia uno de sus más destacados representantes, Quesnay, cuando proponía como objetivo de la Economía, acrecentar las riquezas renacientes sin menoscabo de los bienes de fondo (entre los que figuraba fundamentalmente la capacidad de la Madre – Tierra), citado en Naredo,1999.

Sin embargo, esta idea de crecimiento fue poco a poco divorciándose de su entorno y perdiendo sus matices originales, de manera que los economistas clásicos del siglo XIX* ya consideraban la Naturaleza como un objeto pasivo e incómodo que acabaría frenando el crecimiento económico, aunque ellos mantenían el concepto de producción con su carga material. Son los economistas neoclásicos de finales del siglo XIX quienes despojaron de toda materialidad el

* La economía clásica es una corriente del pensamiento económico del siglo XIX que sucedió a la corriente fisiócrata

concepto de producción, separando por completo el razonamiento económico del mundo físico, al sustituir la Tierra y el trabajo por el capital. Por tanto para ellos solo el capital constituye un factor limitante para la producción de la riqueza.

En este marco conceptual es que se desarrolla una sociedad que centró su interés en el incremento de la producción sin preocuparse de los efectos de la actividad productiva sobre el medio ambiente. Estos efectos mientras se mantuvieron a escala local no preocuparon a la comunidad internacional, pero los mismos alcanzaron un nivel mayor con el crecimiento de la población, provocando a escala global el cuestionamiento del futuro ofrecido por la civilización industrial. Muestra de ello fue la publicación en 1971 del I Informe Meadows, del Club de Roma, sobre “Los límites del crecimiento”, donde se evidenciaba la irracionalidad del crecimiento económico. A la publicación del mencionado informe se le sumaron otros acontecimientos que contribuyeron a la reflexión académica sobre los problemas ecológicos, entre los que se pueden destacar:

- Creación del Programa Man and Biosphera (MaB) de la UNESCO.
- La Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, realizada en Estocolmo en 1972.
- Creación del Programa de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (PNUMA).
- La Primera Conferencia de Naciones sobre los Asentamientos Humanos.

En 1982, en el seno de las Naciones Unidas, es creada la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente, quien publicó en 1987 sus resultados, lo que se conoce como el Informe de Brundtland: “Nuestro Futuro Común”, donde se da a conocer por primera vez el término de desarrollo sustentable, el cual propone un crecimiento económico socialmente justo y ecológicamente viable.

Todo ello obligó a la ciencia económica a reconsiderar sus planteamientos donde había resultado excluido el medio ambiente, dando lugar a dos corrientes de pensamiento económico que abordan la problemática ambiental:

- Economía Ambiental. Las ciencias económicas extiende sus paradigmas para la consideración del ambiente. (Kolstad, 2000)
- Economía Ecológica. Extensión de los paradigmas de la ecología para considerar la sociedad y la economía. (Kolstad, 2000)

La Economía Ambiental es una rama de la economía que incorpora el medio ambiente a sus habituales análisis. La variable medioambiental es considerada como un aspecto más que influye en los hechos económicos.

En definitiva la Economía Ambiental no es más que una especialización de la economía tradicional, o una extensión de esta economía a un nuevo campo de análisis: "El ambiente", lo cual es corroborado en Naredo,1999, cuando su autor afirma que la Economía Ambiental trata de extender el aparato conceptual de la economía convencional al tratamiento de los problemas que plantea el mundo físico.

La Economía Ambiental realiza un análisis del medio ambiente en términos económicos y cuantitativos, es decir, en función de precios, costes y beneficios monetarios.

Entre los temas fundamentales de los que se ha ocupado la Economía Ambiental destacan:

- La problemática de las externalidades.
- La asignación de los recursos naturales entre las distintas generaciones.

Los economistas se refieren al problema de externalidad como:

“Existen externalidades (o efectos-difusión) cuando las empresas o los individuos imponen costos o beneficios a otros fuera del mercado”. (Samuelson, 1992, p50)

“Se dice que estamos en presencia de una externalidad (economía externa), cuando la actividad de una persona (o empresa) repercute sobre el bienestar de otra (o sobre su función de producción), sin que se pueda cobrar un precio por ello, en uno u otro sentido”. (Azqueta, 1994, p 5).

En la teoría microeconómica distintos autores plantean como característica esencial de la externalidad, la existencia de bienes y servicios que interesan a los individuos, pero que no se venden en los mercados, es decir, si ocurre una externalidad, se plantea que no existe una asignación eficiente de los recursos en el sentido de Pareto*. También se le conoce como falla del mercado, donde las externalidades (efectos externos) no tienen precio porque no se comercializan, al no existir un mercado donde éstas se puedan vender.

Las externalidades pueden ser negativas (deseconomías externas) y positivas (economía externa). Un ejemplo clásico de externalidad negativa utilizado por diferentes autores, es la contaminación de un río por residuales de una fábrica, afectando la extracción pesquera de otra empresa. En el análisis microeconómico, el efecto de externalidad negativa en la producción trae consigo un incremento del costo social, como se observa en la gráfica:

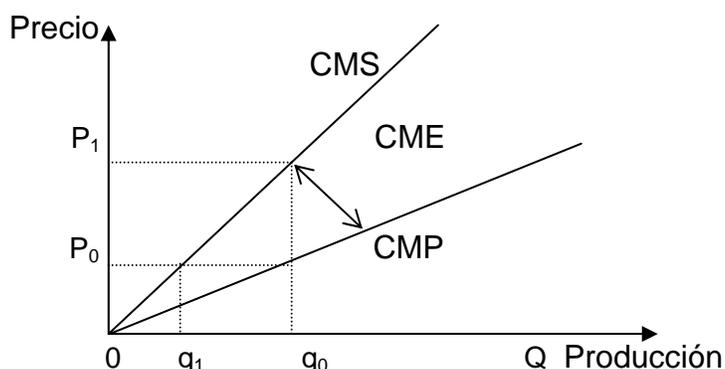


Figura 1.2 Efecto del costo externo en una empresa.
Fuente: Marrero, 2000

Costo Marginal Privado (CMP). Son los costos en los que se incurren en el proceso de producción, todos los costos que conllevan a la producción de un bien.

Costo Marginal Externo (CME). Es el costo derivado del daño ambiental.

Costo Marginal Social (CMS). Es la suma de los costos internos más los externos.

* Se habla del equilibrio en el sentido de Pareto cuando la asignación de recursos del mercado es eficiente, es decir, no es posible mejorar de algún grupo (compradores o vendedores), sin empeorar la posición del otro. (Kolstad, 2000).

En la Figura 1.2, se observa el efecto de la contaminación sobre el nivel de actividad de una empresa. El nivel de producción óptima estaría dado en (q_0, p_1) , la función de Costo Marginal Social incluye el costo privado más el externo; este efecto implica la elevación del precio, para mantener el beneficio. Una alternativa podría estar dada en reducir el nivel de producción hasta q_1 , pero no es lo más usual, si no se tuviese en cuenta el efecto externo entonces la cantidad a producir sería en (q_0, p_0) .

La no existencia de un sistema de precio en la problemática de la contaminación provoca que el mercado no trabaje para rendir la cantidad óptima de contaminación socialmente deseada, situación que los economistas abordan con enfoques alternativos:

- Enfoque de responsabilidad y control, desarrollado por el economista inglés Arthur C. Pigou. Reconoce la existencia de la deseconomía externa, donde existe un responsable y un perjudicado, por lo que una intervención del Estado pudiera contribuir a eliminarlas. Los partidarios de esta teoría abogan por la utilización de un impuesto.
- Enfoque de negociación de las partes implicadas. Defienden que en un sistema completamente funcional en el cual se encuentren perfectamente establecidos los derechos de propiedad, se puede lograr el nivel óptimo social a través de las negociaciones y el regateo.

El tema de la asignación de los recursos naturales entre las distintas generaciones, trata de obtener los "precios óptimos", que indiquen la senda correcta a seguir, hasta que se extraiga la última unidad del recurso en cuestión.

En ocasiones se le ha denominado Economía de los Recursos Naturales y entre sus cometidos se propone:

- la valoración económica de los recursos naturales.
- la valoración económica de los impactos negativos en el entorno.
- la utilización de instrumentos económicos en sus análisis.

Entre los instrumentos y herramientas que utiliza se encuentran los siguientes:

- establecimiento de niveles óptimos de contaminación con criterios de mercado.
- utilización de incentivos económicos: impuestos, subvenciones, permisos de contaminación, etc.
- utilización de metodologías de valoración de los recursos naturales en niveles macroeconómicos.
- utilización del análisis coste-beneficio en la toma de decisiones.

En contraste al paradigma defendido por la economía ambiental aparece la economía ecológica, desarrollando otros enfoques que estrechan más la relación hombre – naturaleza.

La Economía Ecológica busca establecer nuevas conexiones teóricas entre los sistemas ecológicos y los económicos (Constanza, 1989). Constituyendo otra perspectiva en el análisis de las cuestiones económicas y medioambientales, integrando la ciencia ecológica con la económica, adquiriendo un carácter multidisciplinario en lugar de formar una parte de otra ciencia.

Tiene carácter sistémico, lo cual le permite captar la complejidad de los sistemas que abarca y de las interrelaciones existentes entre ellos.

Se basa en una idea de naturaleza vista como conjunto ordenado de ecosistemas cuyo funcionamiento hay que conocer bien para orientar la gestión y el mercado, y parte del conocimiento físico de la biosfera para informar la valoración monetaria y la toma de decisiones de los agentes económicos. La economía ecológica se articula sobre tres nociones biofísicas fundamentales:

- Las leyes de la termodinámica: *Ley de la conservación de la energía* en un sistema cerrado. La energía total: Mecánica, química, térmica, eléctrica o potencial es constante. La materia y la energía no se crean ni se destruyen, sólo se transforman. *Ley de la entropía*, que dice que la materia y la energía se degradan continua e irrevocablemente desde una forma ordenada a una forma desordenada, es decir desde una forma disponible a otra forma no disponible, independientemente de que la usemos o no. La entropía es la suma de la energía

que no se puede aprovechar, llamada energía fijada. La cantidad de energía permanece constante, pero su calidad se degrada de una etapa a otra. De energía libre, capaz de suministrar trabajo, se llega a energía fijada.

- La imposibilidad de generar más residuos de los que puede tolerar la capacidad de asimilación de los ecosistemas.

- La imposibilidad de extraer de los sistemas biológicos más de lo que se puede considerar como su rendimiento sostenible o renovable (Daly, 1989).

Ambas corrientes de pensamiento para abordar la problemática ambiental, lejos de competir, deben complementarse, para con rigor científico, puedan ser vencidas las barreras que la realidad práctica impone, con sus características físico territoriales dentro de un marco institucional y los mecanismos de valoración que le dan lugar.

Este interés de colaboración entre economistas ambientales y ecológicos es lo que Naredo define como objetivo de un enfoque ecointegrador en el análisis económico, que apuntaría a evitar la tradicional disociación entre planteamientos económicos y ecológicos. (Naredo, 1999)

La ciencia económica debe contribuir a que el medio ambiente tome, ante los ojos de todos los sectores económicos, el valor que realmente tiene y con ello favorecer a la toma de decisiones estratégicas que contribuyan con un desarrollo sostenible.

La tarea de precisar el valor del medio ambiente es sumamente compleja y las técnicas de valoración que aporta la economía convencional resultan limitadas e imprecisas, requiriendo de un proceso de refinamiento que como sugiere Aguilera, debe comenzar por matizar estos valores, resaltando y subrayando la importancia de las distintas funciones ambientales que cumplen estos elementos de la Naturaleza, funciones asimilativas, genéticas, productivas, acuíferas, edáficas, atmosféricas, científicas, educativas, recreativas, psicológicas, turísticas, etc. (Aguilera Klink, y col., 1994).

En la literatura se reconoce al medio ambiente el desempeño de determinadas funciones que son valoradas por la sociedad. Hay determinados autores que proponen una interpretación del medio ambiente como un capital que ofrece unos rendimientos en forma de bienes de distinta naturaleza: públicos y privados, que producen tres tipos de funciones económicas que contribuyen a satisfacer las necesidades humanas: (Elorrieta, 2000)

- Provisión de bienes productivos.
- Provisión de servicios suministrados por los ecosistemas.
- Provisión de bienes recreativo-culturales.

En el libro Valoración económica de la calidad ambiental, el autor considera que el medio ambiente cumple al menos cuatro funciones que son valoradas positivamente en la sociedad: (Azqueta, 1994)

- Forma parte de la función de producción de gran cantidad de bienes económicos, constituyendo junto con los recursos naturales la base sobre la que se apoyan muchos procesos productivos.
- Receptor de residuos y desechos, causado por la actividad productiva y de consumo de la sociedad. Hasta cierto límite y gracias a su capacidad de asimilación, puede absorber estos residuos y transformarlo en sustancias inocuas o incluso beneficiosas.
- Proporciona bienes naturales (paisajes, parques, entornos naturales, etc) cuyos servicios son demandados por la sociedad.
- Proporcionador de los medios para sostener la vida.

También Van Hauwermeiren define tres funciones desempeñadas por el medio ambiente en la actividad económica: (Van Hauwermeiren, 1998)

- Proporcionar recursos.
- Asimilar residuos.
- Brindar diversos servicios medio ambientales, donde incluye los procesos naturales que mantienen el funcionamiento de la biosfera y los atractivos que el medio ambiente ofrece para el consumo directo.

James A. Swaney define cuatro funciones: (en Eberle y Hyden, 1994, p226 - 227)

- Producción de bienes naturales, que incluye desiertos, zonas verdes, paisajes, etc. A menudo es competitiva con la producción de recursos naturales, y se limita a la calidad y cantidad por la producción de residuos que provienen de las viviendas y los centros de producción.
- Recursos Naturales, las materias primas y fuentes de energía que fluyen del medio ambiente, del cual depende la producción de bienes y servicios.
- Los servicios que mantienen la vida, representan los servicios necesarios para la vida en el medio ambiente, comunidades humanas, y el lugar de trabajo.
- La función de sumidero se refiere al hecho de que todos los residuos que provienen de todas las partes del medio ambiente y de la economía se depositan en el medio ambiente.

Los autores citados anteriormente, expresado de una manera u otra, coinciden en que el medio ambiente juega un papel protagónico en el sostén de la sociedad, a través de las funciones que desempeña; esto le concede una característica especial a la naturaleza del valor del mismo y que ha sido motivo de controversia entre los teóricos del tema.

En dependencia a la postura adoptada al responder la pregunta, qué da valor al medio ambiente, se reconocen dos tipos de valor:

- Valor Asignado: Expresa las preferencias del sujeto humano en su interacción con el objeto a valorar.
- Valor en sí mismo o intrínseco: Considera que la naturaleza tiene valor independientemente de que los seres humanos estén o no para notarlo.

El análisis económico, en general, adopta la primera línea, aunque con algunos matices, de manera que comparte una ética antropomórfica extendida (Azqueta,1994). De esa manera el valor asignado puede ser clasificado (Pearce,1995, Freeman,1993, Azqueta,1994, Castellanos, 2002) considerando el uso real del medio ambiente en:

- Valor de Uso.
- Valor de no Uso.

El valor de uso puede ser:

- Directo: Los que se derivan del aprovechamiento dentro del ecosistema
- Indirecto: Son los derivados de los efectos fuera del ecosistema

El valor de no uso puede ser:

- De opción: Expresa el beneficio potencial del medio ambiente de su uso directo o indirecto en el futuro.
- De existencia: Refleja las preferencias de las personas con respecto al respeto y bienestar de los seres no humanos, así como a la existencia de los ecosistemas, aunque nunca hagan uso directo de los mismos.
- De *cuasi* opción: Se refiere al valor de información nueva que permite evitar pérdidas irreversibles.

La valoración ambiental se define formalmente (Romero, 1994) como un conjunto de técnicas y métodos que permiten medir las expectativas de beneficios y costos derivados de las siguientes acciones:

- Uso del activo ambiental
- Realización de una mejora ambiental
- Generación de un daño ambiental

A menudo es imposible valorar el activo natural en su conjunto, y el interés se concentra en el valor económico de un cambio en el nivel del servicio ecológico asociado a un cambio en el nivel del recurso; sin embargo, la demanda para un servicio ecológico asociado al nivel de un recurso dado, no siempre es observable directamente. En la ausencia de mercados para tales servicios, todo lo que puede observarse es el cambio de la demanda de bienes mercantiles que acompañan a los cambios en el nivel del recurso.

Los economistas han construido mercados hipotéticos o simulados para servicios ecológicos o para derivar demandas para ellos, a partir de demandas observadas

de bienes y servicios mercantiles. Considerando estos elementos, los métodos de valoración pueden ser agrupados como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1.4: Métodos de valoración

| Mercado | Comportamiento Real | Comportamiento Propuesto |
|--------------|--|---|
| Convencional | Efectos en la productividad Efectos en la salud Costo preventivo | Costo de reposición Proyecto Compensatorio |
| Implícito | Costo de viaje Salario hedónico Precio hedónico Bienes sustitutivos | |
| Construido | Mercado Artificial | Valoración contingente |

Fuente: Adaptado de Ruesga y Durán, 1995

En el caso de los mercados convencionales se tratan de determinar cómo afectan los cambios ambientales, las distintas variables observadas en estos tipos de mercados. Si se analizan los efectos en la producción se debe de tener en cuenta las afectaciones en la calidad, los costos de producción, etc. En cuanto a los efectos en la salud se valoran las pérdidas que se pueden producir a causa de enfermedad o muerte, incluido los beneficios que se dejan de percibir, unido a los correspondientes costos de atención a la salud y los costos preventivos, que no son más que aquellos encargados de mitigar los daños ocasionados por los efectos ambientales.

Al realizar el análisis basándose en el comportamiento propuesto en este tipo de mercado convencional, es necesario considerar el costo de reposición el cual valora el costo futuro de reponer un recurso ambiental deteriorado, así como el relacionado a un proyecto compensatorio, diseñado para contrarrestar los daños ocasionados al medio ambiente.

Cuando la valoración se realiza de forma directa, de no existir información suficiente, debido a la naturaleza del recurso medio ambiental, se procede a la valoración a través de los llamados mercados implícitos. Se recopilan datos indirectos que proporcionen los valores implícitos que poseen los recursos naturales derivado de la actividad del hombre, presentes en los salarios hedónicos, que no es más que la prima salarial necesaria para dar una

compensación por trabajar en un medio contaminado o peligroso. El costo de viaje, es otra de las variables que se toma en cuenta, derivada por el costo en que se incurre por visitar el lugar, así como su estrecha relación con la demanda de dicho bien.

También los precios hedónicos y los bienes sustitutivos son otras de las variables que se entran a valorar. La primera expresa el precio de un bien relacionado con sus características y el comportamiento del consumidor con respecto a aquellos bienes asociados al medio ambiente y la segunda relaciona el valor sustitutivo de un activo medioambiental que por sí mismo no se comercializa.

Otra de las formas en que pueden ser valorados los recursos naturales es utilizando un mercado construido. En los casos que no se puedan obtener datos que permitan realizar un estudio tangible de la problemática en análisis, entonces se procede a utilizar un grupo de técnicas para recoger información como son las encuestas, experimentos, etc., que simulen el comportamiento y la relación de los factores que interactúan con el medio. Se pretende crear un mercado artificial en el cual, el hombre pueda expresar su valoración ambiental directamente. La valoración contingente no es más que la disposición a pagar por un bien ambiental o aceptar una indemnización por su pérdida; es otra de las variables que pertenecen a este mercado construido que ayuda, de cierta manera, a minimizar cualquier influencia de la actividad humana sobre la naturaleza. (Ruesga y Durán, 1995)

Los métodos mencionados son capaces de asignar un indicador monetario al valor que se está estimando, lo cual demuestra la importancia del medio ambiente al bienestar de la sociedad, no queriendo decir que esa valoración deba ser vista como de mercado (Azqueta, 1994).

Los resultados arrojados de la aplicación de los métodos mencionados aportan una valiosa información al proceso de toma de decisiones que involucre al medio ambiente y su calidad; alimentado los análisis económicos en la evaluación de proyectos. Generalmente, estos análisis se realizan con dos criterios económicos: costo - efectividad o costo - beneficio.

Análisis costo - efectividad: Este es simplemente un análisis en el cual se observa la manera más económica de lograr un objetivo determinado de calidad ambiental o, expresándolo en términos equivalentes, de lograr el máximo mejoramiento de cierto objetivo ambiental para un gasto determinado de recursos. Aquí sólo interesan los costos para alcanzar una determinada meta ambiental.

Análisis costo – beneficio: En este tipo de análisis, como su nombre lo indica, los beneficios de la acción propuesta se calculan y comparan con los costos totales que asumiría la sociedad si se llevara a cabo dicha acción.

Este segundo enfoque es el más utilizado, convirtiéndose en un instrumento de decisión que utiliza las preferencias individuales de las partes implicadas en el proyecto, donde los beneficios son vistos como preferencias satisfechas y los costos como las no satisfechas. Estas preferencias son agregadas sobre la base de la eficiencia y el criterio básico de Pareto.

Este método parte del principio que existe una única medida que clasifica todos los objetos y situaciones, considerando la existencia de una sola medida del valor, o sea, parte de la idea de la conmensurabilidad del valor. (Martínez Alier, 1995)

Uno de los riesgos que se corre con el uso de este método es que la tendencia a cuantificar los efectos sobreenfatice aquellos que son valorizables, aún cuando otros efectos intangibles no cuantificados pueden ser tanto o más importantes.

Es conocida la naturaleza inconmensurable y multidimensional del medio ambiente, lo que hace cuestionable la utilización del análisis costo beneficio para una evaluación integrada, la cual debe basarse en procedimientos que explícitamente requieren integrar diferentes cosmovisiones, muchas de ellas contradictorias.

Lo planteado propone la utilización de enfoques alternativos a los mencionados, los cuales se sostienen bajo la perspectiva de un análisis multicriterio.

El análisis multicriterio busca integrar las diferentes dimensiones de una realidad en un solo marco de análisis para dar una visión integral y de esta manera tener un mejor acercamiento a la realidad.

En principio, el análisis multicriterio es una herramienta adecuada para tomar decisiones que incluyen conflictos sociales, económicos y objetivos de conservación del medio ambiente, y además, cuando confluyen una pluralidad de escalas de medición (físicas, monetarias, cualitativas, etc.).

La mayor ventaja de los métodos multicriterio es que permiten considerar un amplio número de datos, relaciones y objetivos, que generalmente están presentes en un problema de decisión específica del mundo real, de tal modo que el problema de decisión a manejar, puede ser estudiado de una manera multidimensional. Por otra parte, el análisis multicriterio incluye, en sus características, la posibilidad de trabajar con márgenes de incertidumbre.

A modo de conclusión se puede afirmar que la sociedad tomará las mejores decisiones acerca del medio ambiente si el proceso de valoración se hace tan explícito y participativo como sea posible. Esto significa aprovechar mejor la información, hacer explícitas las incertidumbres y utilizar técnicas y métodos de ayuda a la decisión, muchas de las cuales son aportadas y/o fundamentadas por las matemáticas.

1.5 Técnicas matemáticas utilizadas en la valoración ambiental.

La Economía Ambiental, al constituir una extensión de la economía convencional, hace uso de las herramientas de análisis de la misma. Como se conoce, la economía neoclásica se caracteriza por la amplia utilización de las técnicas matemáticas para fundamentar sus resultados, lo que se extrapola a los análisis de la economía ambiental.

Un ejemplo de lo dicho es la conceptualización económica de la contaminación, para la cual se utiliza todo el instrumental aportado por el análisis matemático clásico. El mismo permite determinar el nivel óptimo de contaminación producida por una empresa sobre otra, lo que constituye para esta última una externalidad.

Los beneficios de la empresa contaminadora son dados en la siguiente expresión:

$$B = I(x) - C(x)$$

Donde:

B : es el beneficio

$I(x)$: es el ingreso

$C(x)$: los costos totales

Se conoce que:

$$I(x) = Px$$

Donde:

P : es el precio independiente del volumen de producción

Entonces:

$$B = Px - C(x)$$

El interés del productor es maximizar sus beneficios, o sea producir la cantidad que le aporte el mayor beneficio, se conoce que ese valor es dado por el cero de la primera derivada,

$$BMP = \frac{\partial B}{\partial x} = P - C'(x) = 0$$

Sea:

BMP : La función de los beneficios marginales

X_m : El valor de la producción que maximiza el beneficio

CMS : Costo marginal externo sufrido por quien recibe la contaminación

En el siguiente gráfico se muestran el beneficio marginal de la empresa contaminadora (BMP) y el costo marginal externo (CME) experimentado por la empresa que sufre la contaminación:

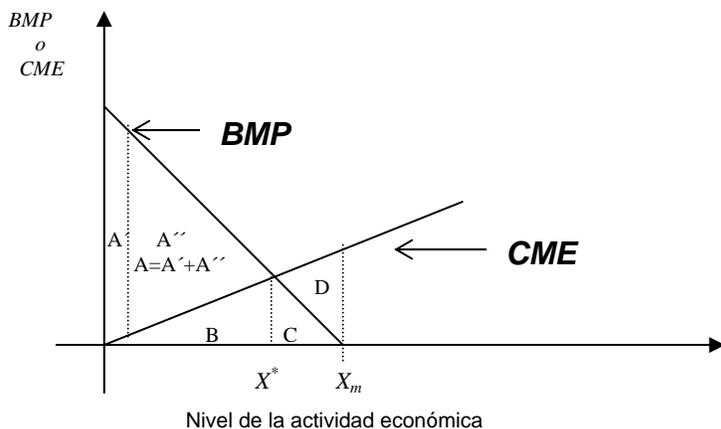


Fig. 1.3 Beneficio y costo marginal de la empresa contaminadora

Se define la función de beneficio social (BS) como:

$$BS = BMP - CME$$

$$BS = Px - C(x) - CME$$

Esta última función alcanza su valor máximo donde su primera derivada se anula o sea, en el punto x^* , el cual representa el nivel de producción que debe tener la empresa contaminadora de manera que el beneficio social sea máximo.

Las áreas señalizadas en la Figura 1.3 tienen una interesante interpretación económica:

- El área A mide el nivel óptimo de beneficios sociales
- El área A + B mide el nivel óptimo de beneficios privados
- El área B representa el nivel óptimo de la externalidad que genera la empresa contaminante
- El área C + D representa el nivel de costo externo que no es socialmente deseable

Otros ejemplos del empleo de las técnicas matemáticas en la valoración ambiental se dan en los métodos de valoración de los activos ambientales, los cuales tienen sus fundamentos económicos en la teoría del consumidor, específicamente en el concepto de excedente del consumidor, el cual se define en la literatura (Baumol, 1980) como la diferencia entre lo que el consumidor

hubiera estado dispuesto a pagar por un determinado nivel de consumo (utilidad total por su compra), menos lo que realmente paga por dicho nivel de consumo. Esto puede ser representado como el área sombreada en el siguiente gráfico:

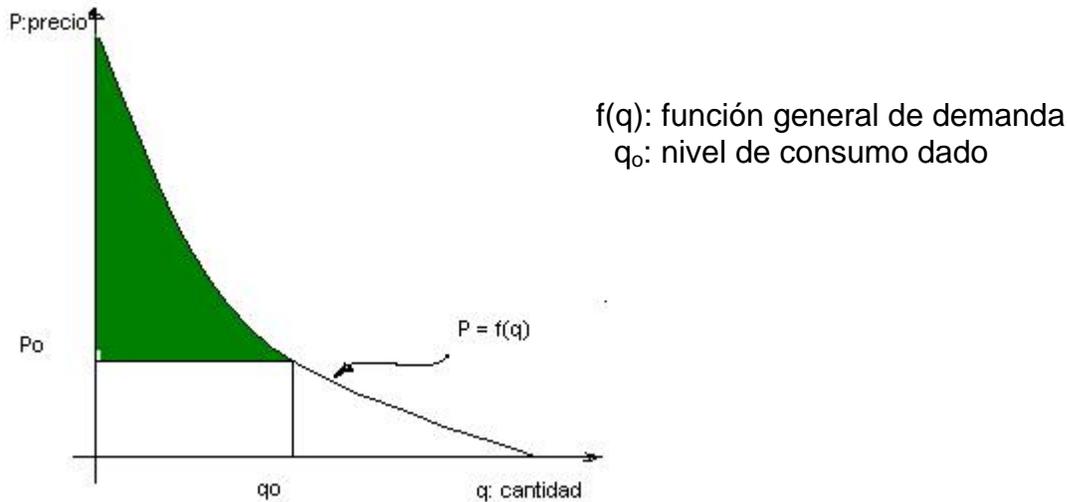


Fig. 1.4 Excedente del consumidor

Análíticamente, el excedente del consumidor queda definido como:

$$\int_0^{q_0} f(q) dq - P_0 q_0$$

Sólo bajo ciertas condiciones, el excedente del consumidor puede ser utilizado como indicador de las ganancias y pérdidas del bienestar asociado a un cambio de precio, por lo que se propone el uso de otros dos conceptos:

VC: Variación compensatoria: Indica el deseo de pagar una cantidad de dinero para asegurar un beneficio (mejora ambiental) o evitar una pérdida (daño ambiental)

VE: Variación equivalente: Indica el deseo de aceptar una determinada cantidad de dinero por tolerar una pérdida (daño ambiental) o renunciar a un beneficio (mejora ambiental).

El hecho de la no existencia de mercados reales para los beneficios y daños ambientales impide la medición del excedente del consumidor, indicador

monetario que representa el incremento del bienestar social derivado de una mejora (daño) ambiental. Es por ello que se han ideado métodos como los expuesto en la tabla 1.4, los cuales trabajan en muchos casos en mercados contruidos o con existentes, donde se revela de manera indirecta la voluntad de pagar del consumidor. La aplicación de estos métodos exige la utilización de herramientas matemáticas que posibilitan tales estimaciones.

En el caso del método de variables hedónicas, donde se trata de determinar en qué medida el deseo de consumir un bien ambiental o de garantizar un nivel de calidad en dicho bien, afecta el precio de una serie de bienes para los que existe un mercado real. El valor de un bien con mercado está condicionado por una serie de variables, llamadas económicas y una variable ambiental, llamada hedónica. El método consiste en determinar el deseo de pagar por un cambio en la calidad del bien ambiental a partir de una función P estimada, que relaciona el bien con mercado y las variables económicas y la ambiental.

Sea $P = f(x_1, x_2, \dots, x_n, z)$ obtenida por regresión estadística a partir de una muestra seleccionada, donde:

x_i : variables económicas

z : variable ambiental

Se define W , deseo marginal de pagar, como:

$$W(z) = \frac{\partial P}{\partial z} \quad 1.1$$

Si la función P no es separable entre las variables económicas y la variable ambiental, implicará que W dependerá además de la variable ambiental de algunas de las de tipo económica, en ese caso para lograr que W solo dependa de z , se procederá a evaluar la muestra tomada en la función obtenida en 1.1, obteniéndose una nueva muestra (W_i, z_i) , con la que se realizará un ajuste estadístico que permitirá obtener $W(z)$.

El deseo total de pagar será:

$$\int_{z_1}^{z_0} W(z) dz$$

z_0 : valor inicial de la variable anterior
 z_1 : valor alcanzado después del

Cuando se aplica el método de costo de viaje, se estima la voluntad de pagar por el disfrute de un servicio ambiental, especialmente de carácter recreativo, a partir de la función de demanda obtenida, al relacionar el costo de desplazamiento al lugar y el número de visitantes. Para la obtención de esta función se utilizan técnicas de regresión lineal y puede ser considerado en el análisis otras variables que contemplen características socioeconómicas de los visitantes y otros atributos propios del entorno. Al conocer esta función es muy simple la estimación del excedente del consumidor, determinando el área bajo la curva de demanda estimada.

El método de valoración contingente, el cual clasifica como método de valoración directo, al tratar de estimar la voluntad de pagar por mejoras ambientales en mercados construidos artificialmente, en los que el papel del mercado lo juega un entrevistador y el de la oferta las personas que disfrutan el bien o sufren el daño ambiental, es otro ejemplo donde las técnicas de la estadísticas – matemática son el medio de lograr la materialización de la valoración en la práctica.

La manera en que puede presentarse el cuestionario cambia según la metodología seguida por el entrevistador: encuesta cerradas, abiertas, por subasta, por referéndum. Para todas, el procesamiento de la información requiere del uso de métodos estadísticos, los cuales permiten estimar la variación compensatoria o equivalente, según sea el caso.

Otras de las técnicas matemáticas ampliamente utilizadas en los últimos años, para la valoración económica ambiental, son las aportadas por el análisis multicriterio. Las mismas, como ya se comentaba en epígrafes anteriores, son capaces de captar la multidimensionalidad del medio ambiente, lo que las hace muy apropiadas para la evaluación de proyectos de desarrollo. (Falconi, 2003; Gamboa, 2003; Munda, 2003, Klauer, 2002, Forte, 2001, Marrero, 2000)

Matemáticamente, el problema multicriterio se define:

$$\text{Max}F(x)$$

$$x \in X$$

donde: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ es el vector de n variables de decisión

$X \subset R^n$ es la región factible

$F(x) = [f_1(x), \dots, f_p(x)]$ es el vector de las p funciones objetivos

El problema consiste en determinar valores para las variables x_j , que den el mejor valor a las p funciones objetivos, estas funciones están generalmente en conflicto, por tanto, será imposible encontrar una solución que maximice simultáneamente todos los objetivos propuestos, lo que obliga a sustituir el concepto de solución óptima por el de solución de compromiso.

La toma de decisiones multicriterio ha desarrollado una personalidad propia que utiliza una terminología específica que incluye conceptos nuevos. Debe observarse que algunos de los conceptos que se van a introducir tienen el mismo significado semántico y se emplea uno u otro en dependencia del contexto teórico en el que se utilicen; a continuación se definen los mismos:

- Alternativas: Posibles soluciones o acciones a tomar por el decisor.
- Atributos: Características que se utilizan para describir cada una de las alternativas disponibles, pueden ser cuantitativas o cualitativas, cada alternativa puede ser caracterizada por un número de atributos escogidos por el decisor.
- Objetivos: Aspiraciones que indican direcciones de perfeccionamiento de los atributos seleccionados, está asociado con los deseos y preferencias del decisor.
- Meta: Aspiraciones que especifican niveles de deseos de los atributos.
- Criterio: Término general que engloba los conceptos de: atributos, objetivos y metas que se consideran relevantes en un problema de decisión.

Atendiendo a la naturaleza de la región factible X , las decisiones multicriterio se dividen en dos grandes ramas:

- Múltiples Objetivos (MODM) se relaciona con aquellos problemas en que el conjunto de alternativas es grande y no predeterminadas, se utilizan para diseñar la " mejor " alternativa considerando la interacción con las restricciones, la solución de estos problemas se aborda mediante las técnicas clásicas de optimización.

- Múltiples Atributos (MADM) o métodos discretos, aquí se consideran un número finito de alternativas , de manera que el problema queda definido de la siguiente forma:

A es un conjunto finito de n alternativas

m es el número de criterios de valoración g_i ($i = 1,2\dots m$)

Dadas la alternativas $a, b \in A$, se considera a mejor que la alternativa b, según el i-ésimo criterio si $g_i(a) > g_i(b)$. Este problema puede representarse en forma tabular o de matriz C(nxm), llamada matriz de evaluación o de impacto, donde el elemento c_{ij} ($i = 1\dots m$; $m = 1,2\dots n$) representa la valoración de la j-ésima alternativa según el i-ésimo criterio. La matriz de impacto puede incluir información cuantitativa, cualitativa o ambos tipos de información.

Existen varios tipos de formulación de problemas multicriterio de tipo discreto, que conllevan a varios tipos de resultados, que pueden ser:

α : la meta es identificar una y sólo una alternativa final (seleccionar la mejor alternativa).

β : la meta es asignar cada acción a una categoría predeterminada (clasificar las alternativas en clases predeterminadas).

γ : la meta es clasificar todas las alternativas según un orden total o parcial.

δ : la meta es describir alternativas relevantes y sus consecuencias.

1.6 Modelación matemática de los sistemas económicos – ecológicos.

La gestión de los recursos naturales requiere para su implementación del empleo de la modelación matemática. La búsqueda de soluciones para los modelos creados utiliza una gran variedad de técnicas matemáticas, entre las que pueden citarse: (Reed, 1994, en el libro de Azqueta)

- Sistemas dinámicos: Ecuaciones diferenciales (tiempo continuo) y ecuaciones en diferencias finitas (tiempo discreto)
- Procesos estocástico: continuos y discretos, tanto en espacios de estados, como extendidos en el tiempo
- Métodos matriciales
- Teoría de juegos
- Métodos de optimización: incluyendo la teoría del control óptimo, la programación dinámica (determinística y estocástica)
- Teorías de decisión bayesianas y marcovianas
- Técnicas de simulación

Los sistemas económicos y ecológicos por separado presentan características que los definen como sistemas complejos, pues están formados por grupos que interactúan a través del intercambio de energía, materia e información. Los sistemas complejos se caracterizan por fuerte interacción (generalmente no lineal) entre las partes, lazos de retroalimentación que dificultan distinguir entre causa y efecto, discontinuidades, retardos de tiempo y espacio, umbrales y límites. Todo lo dicho justifica la imposibilidad de representar el todo como la suma de las partes.

El estudio de los sistemas económicos como ecológicos a través de la modelación exige la elaboración de un modelo, el cual debe reflejar los rasgos y propiedades más importantes del objeto de estudio en un lenguaje de nociones y ecuaciones matemáticas. Considerando las características de estos sistemas que lo definen como sistemas complejos, se evidencia el grado de dificultad de esta empresa, lo cual se acentúa si ambos sistemas se consideran simultáneamente interactuando entre ellos.

Generalmente los modeladores, cuando realizan un estudio, establecen fronteras que minimizan las interacciones entre el sistema objeto de estudio y el universo, con vistas a facilitar el trabajo, pero esto ha de hacerse con mucha cautela y cuidando el objetivo propuesto, pues las interacciones entre los sistemas ecológicos y económicos son muy fuertes, por tanto, dividir el mundo en sistemas

económicos y sistemas ecológicos por separados sería una mala opción de acotación (Costanza, 1993)

Para el estudio de estos fenómenos el enfoque reduccionista aportado por las ciencias clásicas resulta totalmente ineficiente, en contraste con los métodos aportados por el análisis de sistema, los cuales permiten evaluar la conducta de los sistemas ecológicos-económicos concatenados.

Las interacciones entre los sistemas económicos y ecológicos han sido representadas fundamentalmente a través de dos enfoques:

- Modelos termodinámicos. En los mismos se refleja la estructura del sistema económico – ecológico, representando los cambios en la descripción física del sistema y su incidencia en el tratamiento de externalidades en la representación económica del sistema. Ejemplos de aplicación de este enfoque son los modelos de balance de masa desarrollados por Ayres y Kneese (1969), Maler (1974), Amir (1994), Van den Bergh,(993), O'Connor(1991), Ayres (1994), donde parten del supuesto de que los sistemas físicos deben satisfacer la condición de conservación de la masa y por tanto, el crecimiento material de los sistemas económicos necesariamente incrementa, tanto la extracción de recursos ambientales, como el volumen de desechos depositados en el medio ambiente.

Otro ejemplo de aplicación de este enfoque son los modelos que describen las interacciones de los sistemas económicos – ecológicos en términos de flujos de energía (Cottrell,1955; Odum,1975; Martínez Alier, 987; Cleveland, 1989)

- Modelos bioeconómicos. Estos se basan en la dinámica de las poblaciones. Las variables de estados son las poblaciones explotadas (recursos biológicos) y su dinámica se describe por las ecuaciones de movimiento del sistema. Ejemplos de este enfoque son los modelos para la gestión forestal propuestos por Clarke y Reed (1989) y Reed y Echevarria (1990) y los de explotación de recursos pesqueros de Henderson y Tugwell (1979) y Varela Y Surís (1994).

Existen diferentes enfoques en la modelación que pueden ser clasificados acorde al número de criterios, la escala utilizada, la resolución, la generalidad, el realismo y la precisión. El más adecuado depende de los objetivos propuestos.

Propósitos de los modelos.

Los modelos pueden tener múltiples propósitos y usos, sin embargo ninguno es apropiado para un rango completo de aplicación (Levin, 1966 ; Robinson,1991) o sea, son útiles para ayudar a resolver diferentes tipos de situaciones, pero no existe un modelo único capaz de resolver cada una de estas situaciones.

Los modelos son fundamentalmente usados para evaluar políticas, aportando elementos que ayudan al decisor a tomar una decisión; es bueno aclarar que el decisor es quien toma la decisión y no el modelo, es por ello que es incorrecto cuando los modelos son usados para legitimizar una decisión.

En el caso de la modelación de sistemas económicos-ecológicos, los modelos tienen un amplio rango de propósitos que va, desde el desarrollo de simples modelos conceptuales que dan una comprensión general del comportamiento del sistema, hasta aplicaciones prácticas detalladas que permiten evaluar políticas específicas.

Teniendo en cuenta lo dicho, Reed, W.J, 1994 propone la siguiente clasificación de los modelos:

- Modelos Descriptivos: Los que se utilizan para ayudar a comprender y explicar un fenómeno determinado, por ejemplo el modelo de Gordón (1954), el cual explica la pobreza de los pescadores como un fenómeno derivado del carácter común del recurso.
- Modelos Normativos o Prescriptivos: Los utilizados para recomendar que debería hacerse. Con frecuencia estos modelos se utilizan para demostrar por qué determinados procedimientos o políticas son ineficientes.

Según Costanza, la calidad de los modelos debe ser evaluada a través de tres criterios: (Costanza, 1993)

- Realismo: Se refiere a la representatividad del modelo desde un punto de vista cualitativo.
- Precisión: Se refiere a la representatividad del modelo desde un punto de vista cuantitativo.

- Generalidad: Se refiere a la capacidad del modelo de representar un amplio rango de sistemas.

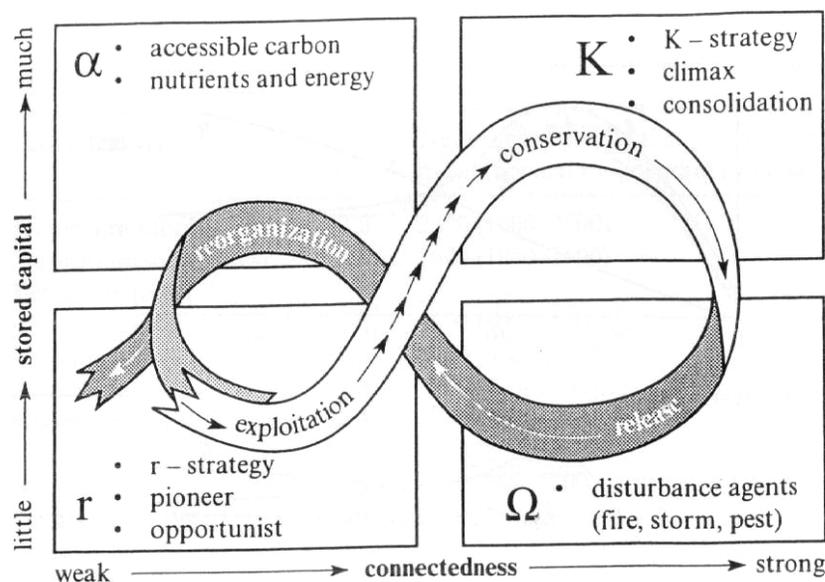
Es imposible que un modelo simple maximice estas tres metas a la vez, pues por su naturaleza, existe antagonismo entre las mismas, por lo que la decisión de qué criterio considerar al desarrollar un modelo depende fundamentalmente del propósito que se persigue con él.

Modelos conceptuales de alta generalidad.

En el intento de lograr mayor generalidad, los modelos pierden algo de realismo y/o precisión. Ello puede simplificar relaciones y/o reducir resolución. Simples modelos económicos-ecológicos lineales y no lineales tienden a tener alta generalidad pero bajo realismo y precisión. Existen en la literatura muchos ejemplos de modelos con estas características: Brown y Swierzbinski, 1985, Clark y Munroe, 1975; Keritala y Pohjola, 1988. Los modelos macroeconómicos conceptuales como Keynes, 1936; Lucas, 1975. Los modelos de crecimiento económico de Solow, 1956.

Un ejemplo desarrollado con esta idea de maximización de la generalidad es el desarrollado por Holling, 1987, 1992.

Fig. 1.5 Modelo de caja de Holling



Fuente: Folke, 1993

Las funciones, representadas en las cajas son:

- Explotación: Aquí hay un crecimiento rápido de especies pioneras y oportunistas que dominan y explotan el espacio abierto.
- Conservación: Este estado puede tomar largo tiempo y es donde se consolidan y desarrollan las comunidades.
- Descarga: El sistema se colapsa como consecuencia de la fragilidad del mismo.
- Reorganización: El sistema se reestructura después de la fase de liberación o descarga.

Las flechas muestran la velocidad del flujo en el ciclo del ecosistema; las más largas indican una situación de cambio rápido, mientras que las cortas representan cambios lentos. El ciclo refleja cambios en dos atributos: en el eje “y”, la cantidad de capital acumulado, registrado en las variables claves del momento y en el eje “x”, el grado de conectividad entre variables.

Dentro de este modelo, los sistemas evolucionan desde la fase de explotación, durante la cual los organismos toman fácilmente los recursos disponibles, a la fase de conservación, donde se construyen y se consolidan las estructuras más complejas. Al incrementarse la organización y conectividad, el sistema se torna frágil y comienza a ser perturbado en determinadas áreas que lo desestabilizan pasándose a la fase liberadora, la cual representa el rompimiento de las estructuras maduras. La estructura liberada queda entonces disponible para la reorganización y captable en la fase de explotación. Si en la fase de conservación los límites de la estructura son muy rígidos, que entorpece la fase liberadora, esto hace aún más frágil la estructura y susceptible a una destrucción completa; sin embargo, si en esta fase se permiten algunas libertades, la destrucción ocurre en menor escala, conduciendo a sistemas más elásticos.

El modelo de las cuatro cajas de Holling puede servir como modelo económico – ecológico que presenta alta generalidad a costa de precisión y realismo.

Modelos analíticos de alta precisión.

Con frecuencia el interés del modelador está en lograr alta precisión (correspondencia cuantitativa de los datos y del modelo) y está dispuesto a sacrificar realismo y generalidad. Una estrategia aquí es mantener alta resolución, simplificando relaciones y considerando un lapso de tiempo breve. En muchos casos los modelos se construyen a escala pequeña, capaces de rastrear pequeñas fluctuaciones del sistema, con ello se logra precisión pero se pierde generalidad y realismo; otros utilizan un enfoque más general, quitando algunos ruidos que afectan al sistema pero entonces no permiten rastrear las fuentes de cambio del sistema. Otra alternativa consiste en identificar un número pequeño de propiedades que caractericen al sistema como un todo y crear el modelo considerando sólo a ellas. Por ejemplo, Hannon y Joiris, 1987 usaron un modelo de entrada salida para examinar las relaciones entre el inventario biótico y abiótico en un ecosistema marino, permitiéndoles mostrar la conexión directa e indirecta entre las especies y el medio ambiente con una alta precisión, pero con baja generalidad y realismo. Los grandes modelos econométricos de Klein, 1971 usados para predecir el comportamiento de los sistemas, también puede ser considerados dentro de esta categoría.

Modelos Analíticos de alto realismo.

Al crear modelos con el objetivo de desarrollar valoraciones realistas del comportamiento de un sistema complejo dado, la precisión y la generalidad deben ser relajadas. Un realismo alto implica una representatividad exacta de los procesos fundamentales del sistema. Los modelos de sistemas evolutivos, no lineales y dinámicos, de una resolución moderada a alta, generalmente caen en esta categoría, por ejemplo los modelos físico-químico-biológico de Wroblewski y Hofmann, 1989, los cuales se usaron para investigar el flujo de nutrientes; otro ejemplo es el modelo de dinámica del paisaje costero de Costanza, 1990, en este modelo el paisaje costero queda dividido en celdas de un kilómetro cuadrado, cada una contiene un modelo que simula dinámica ecológica: flujos de agua, sedimentos, nutrientes y biomasa de una celda a otra, además de considerar la

dinámica interna, teniendo en cuenta algunos impactos humanos. Este modelo es para un sitio específico, por que lo presenta poca generalidad y una precisión numérica moderada.

Modelos de Indicadores con precisión y generalidad moderada.

En muchas ocasiones el interés del uso de la modelación está en determinar una magnitud global y la dirección de cambio; esto obliga a ceder en realismo en virtud de ganar algo de generalidad y precisión. Por ejemplo, indicadores macroeconómicos, como el Producto Interno Bruto que se le adiciona la dimensión ambiental considerando costos ambientales, indicadores de salud del ecosistema, etc.

Computadoras y modelación.

Antes del desarrollo de la computación, las ecuaciones que describían la dinámica de los sistemas se resolvían analíticamente, elemento este que limitaba el nivel de complejidad de los sistemas que podían ser estudiados, por tanto, los sistemas económicos-ecológicos que presentan frecuentes discontinuidades y conducta caótica, además de que su comportamiento solo puede ser explicado a través de expresiones no lineales, no podían estudiarse con los modelos que hasta ese momento eran solubles. En algunos casos muy limitados se aproximaba la dinámica de los mencionados sistemas con expresiones lineales, lo que provocaba modelos de muy baja resolución y faltos de precisión.

En la actualidad, con el desarrollo de la computación, donde los equipos son capaces de procesar grandes volúmenes de información en fracciones de segundos y la aparición de potentísimos software, ha crecido considerablemente las posibilidades de modelación de los sistemas complejos, de manera que los modelos son capaces de generar soluciones dinámicas, evolutivas y adaptativas. Estos modelos representan los sistemas objeto de estudio con una gran resolución y precisión, permitiendo describir el comportamiento de las partes integrantes del sistema, a pesar de que ellas corren en diferentes escalas de tiempo y espacio, esto, gracias a las técnicas de la metamodelación.

Como se ha expuesto, las técnicas matemáticas resultan indispensables en el proceso de valoración ambiental, no queriendo decir esto que ellas constituyan por si misma una garantía de que los resultados obtenidos con el auxilio de ellas favorezcan siempre al medio ambiente. Depende pues, de la información que se disponga y por supuesto, de las intenciones y propósitos con que son usadas.

No obstante, estas técnicas matemáticas, bien utilizadas, completan el rigor científico del proceso de valoración del medio ambiente, que aporta el análisis de las funciones ambientales y la cuantificación de su mejora o deterioro.

Un modelo descriptivo del nivel de contaminación orgánica en una bahía.

Todos los sistemas acuáticos poseen la capacidad de autodepuración, de manera que sus aguas son capaces de degradar la materia orgánica recibida, conservando los atributos que caracterizan su calidad.

Sin embargo, cuando el nivel de contaminante sobrepasa un umbral determinado por las condiciones naturales del sistema, comienzan a manifestarse signos de afectación, provocando una disminución de la capacidad de asimilación. Si el medio es sometido durante mucho tiempo a estos niveles de contaminación, la capacidad de asimilación desaparece, provocando un daño irreversible.

A continuación se propone un modelo que a criterio de la autora, trata de recoger en sus parámetros y expresiones lo planteado.

Sean:

ρ_t : tasa de asimilación en el tiempo t de la bahía

y_t : aporte de contaminante orgánico a la bahía en el tiempo t

x_t : nivel de contaminante orgánico en la bahía en el tiempo t

$$x_{t+1} = \max(0; x_t - \rho_t + y_t)$$

donde:

$$y_t = \sum_{j=1}^n f_{t_j} + g_t$$

f_{t_j} : aporte de contaminante de la j -ésima fuente puntual en el tiempo t .

g_t : aporte de contaminantes de fuentes no puntuales en el tiempo t .

$$\rho_t = \alpha_t \rho_0$$

$\alpha_t \times 100$: representa el porcentaje de la tasa de asimilación natural que se mantiene luego de ser la bahía sometida a una carga contaminante que supera su capacidad máxima de asimilación.

$$\alpha_t = \begin{cases} 1 & \text{si } x_{t-1} - K \leq 0 \\ \max \left[0; \frac{K - 1/\beta^2 (x_{t-1} - K)}{K} \right] & \text{si } x_{t-1} - K > 0 \end{cases}$$

donde:

K : capacidad máxima de asimilación

$$K = \beta \rho_0$$

β : Expresa la capacidad de recuperación del sistema, o sea su resiliencia

Cuando $\alpha_t = 0$ el daño es irreversible, por tanto el sistema pierde las características que condicionan la existencia de los bienes y servicios que ofrecen esta agua, trayendo consigo pérdidas desde el punto de vista ambiental, social y económico.

Dadas las características de los sistemas ambientales, se conoce que $y_t > k_0$, $k_0 > 0$, o sea, que la reducción de la contaminación sólo es posible hasta un valor dado de k_0 . Por ello es imprescindible evitar situaciones que provoquen una disminución en la tasa de asimilación, ρ , tal que $\rho < k_0$, pues ello conllevaría a la situación de irreversibilidad. Cuando ρ pertenezca a una vecindad de k_0 , $\rho \in \varepsilon(k_0)$ el sistema puede clasificarse como frágil, o sea, está al borde de un daño irreversible.

Cuando la tasa de asimilación se reduce por el exceso de contaminantes ocurre la llamada externalidad dinámica (Pearce, 1994); en esta situación se reconoce que el análisis de costo-beneficio no es apropiado para determinar el nivel óptimo de contaminación y se propone considerar otras variables físicas que caractericen la

situación, de manera que el análisis incorpore otros indicadores además del económico.

Finalizada la revisión bibliográfica relacionada con la temática abordada en este capítulo se llegan a las siguientes consideraciones:

- El océano juega un papel importante en el equilibrio y funcionamiento de los ecosistemas del planeta.
- El medio marino recibe los impactos negativos del mal manejo de sus recursos y de las malas prácticas desarrolladas en tierra.
- La contaminación marina es uno de los problemas ambientales a los cuales se enfrenta el mundo de hoy.
- Las zonas costeras son las más afectadas por la contaminación.
- Las costas cubanas no presentan problemas ambientales de gran magnitud.
- A pesar de la gran controversia referida a la posibilidad y forma de realizar valoraciones del medio ambiente, argumentada por la dificultad de colocar valor a intangibles, las mismas son necesarias a la hora de tomar decisiones.
- La valoración económica ayuda a comprender la importancia de los servicios del medio ambiente.
- Las bahías como accidentes geográficos ubicados en la zona costera, son afectadas por la contaminación, ejemplo de ello es la bahía de Cárdenas, la que ha estado sometida durante años a la descarga de residuos orgánicos, mostrando signos de daño; por lo que la situación de la misma pudiera ser representada a través del modelo descriptivo del nivel de contaminación orgánica en una bahía.

Capítulo II. Propuesta metodológica para la evaluación del efecto de la contaminación de la Bahía.

Las acciones encaminadas a detener y revertir el proceso de deterioro de la bahía deben ser fruto de reflexiones en cuanto a la pérdida de las oportunidades económicas y pérdida de bienes y servicios ambientales debido a la contaminación; o sea las alternativas de solución de esta problemática ambiental deben ser resultado de la correcta evaluación del efecto de la mencionada contaminación.

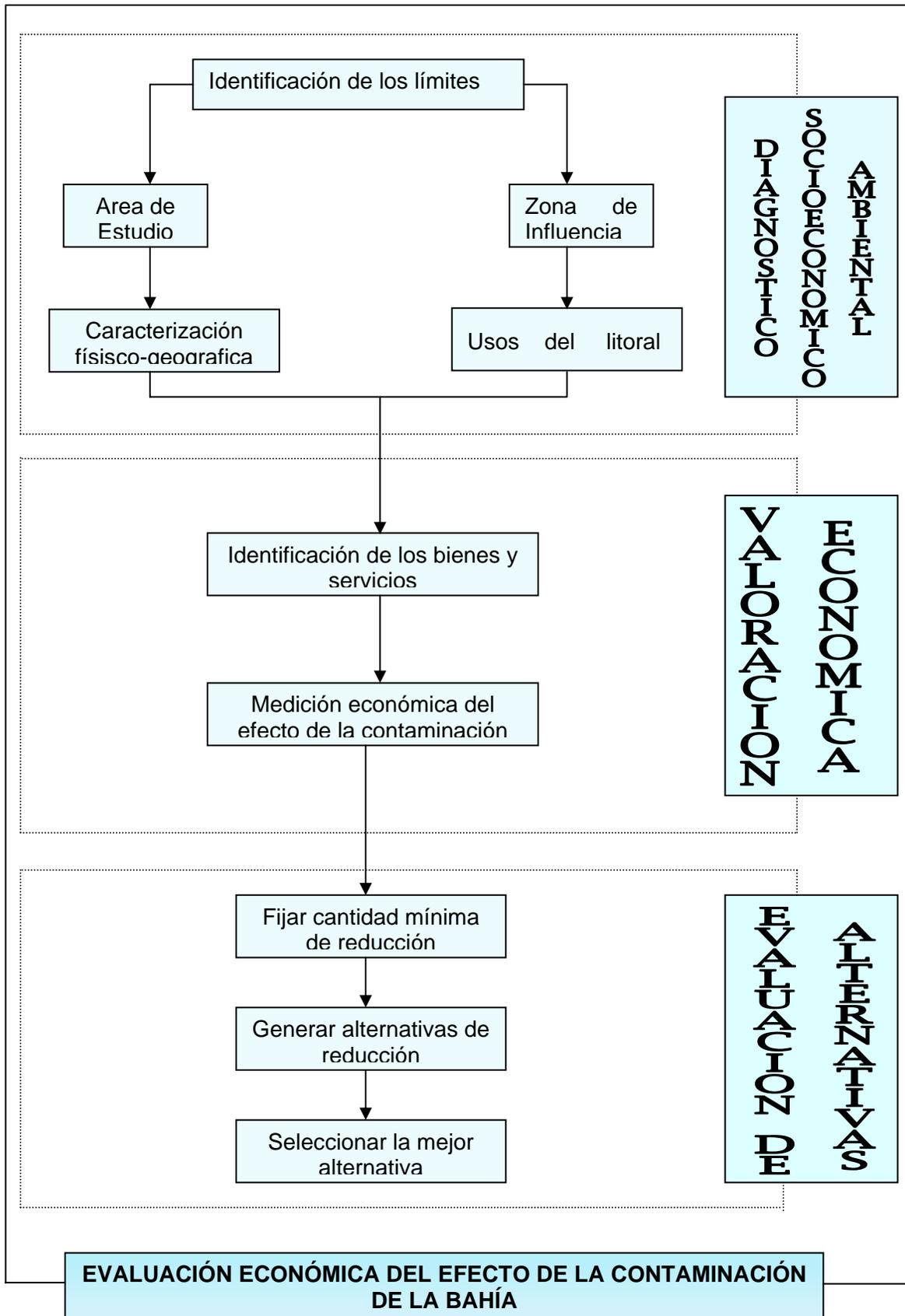
Esta evaluación debe contemplar todas las actividades que se desarrollan en el lugar así como las potenciales de desempeñarse dadas las características físico socioeconómicas del lugar. Los análisis deben realizarse tomando en cuenta todas las dimensiones e intereses implicados, pues cada una recibe los beneficios de los bienes y servicios aportados por la bahía, lo que a su vez define los diferentes componentes de valor de la misma.

Estas evaluaciones aportan elementos a las instituciones administrativas del territorio, quienes son las encargadas de establecer las políticas de desarrollo. Estas políticas deben responder a los intereses de la mayoría pero dentro de un marco ambiental saludable, de manera que se garantice un desarrollo económico social en la región compatible con su entorno.

Es bueno señalar que no sólo resulta útil el resultado de la evaluación sino también el procedimiento seguido para la misma, el cual debe incorporar un componente didáctico que contribuya al aprendizaje del “hacedor de políticas” de su funciones, dotándolo de herramientas científicamente fundamentadas que le posibiliten comparar, discriminar y seleccionar el curso de sus acciones.

La falta de experiencia en el país de estudios con estas características justifica la carencia de esquemas metodológicos que los conduzcan. Para el presente estudio se creó un procedimiento metodológico, el cual se muestra en la figura 2.1.

Fig. 2.1 Esquema metodológico para la evaluación económica del efecto de la contaminación.



2.1 Procedimiento metodológico.

La aplicación del procedimiento necesita la identificación de los límites territoriales, pues con ello se logra precisar las fronteras del área de estudio y la zona de influencia, cuestión imprescindible a tener en cuenta en estos análisis medioambientales.

Se define como área de estudio, aquella que será objeto de evaluación y como zona de influencia, la que pudiera perturbar las características que condicionan el valor del área de estudio y/o la que recibe los beneficios por el desempeño de las funciones que dan valor al objeto de estudio.

Fig. 2.2 Identificación de límites



Para el desarrollo de esta evaluación se propone un procedimiento de trabajo que se estructura en tres etapas:

- I. Diagnóstico socio económico ambiental.
- II. Valoración económica del efecto de la contaminación.
- III. Evaluación de alternativas de reducción de contaminación.

A continuación se detallan cada una de estas etapas, así como los materiales y métodos a utilizar.

Etapa I. Diagnóstico socio económico ambiental.

El propósito de esta etapa es caracterizar la zona objeto de estudio, de manera que puedan establecerse las condiciones físico - geográficas naturales que

propicien el funcionamiento de los ecosistemas que integran el paisaje del lugar. Además de precisar la influencia antropogénica en él.

Como resultado de esta primera etapa debe obtenerse:

- La descripción socioeconómica del territorio.
- La caracterización físico – geográfica del lugar.
- La descripción geomorfológica y de los paisajes.
- Los principales problemas ambientales, precisándose las fuentes de contaminación.

La base informativa a utilizar en esta etapa es tomada de trabajos científico-investigativos desarrollados anteriormente, así como entrevistas realizadas a especialistas del territorio conocedores de la problemática ambiental de la zona.

Etapa II. Valoración económica del efecto de la contaminación.

En esta etapa se pretende medir los costos derivados del daño que la contaminación ha ocasionado en la bahía. El daño se manifiesta en la reducción de la capacidad de producir bienes y servicios, que se traduce en costos. Es por ello que para la valoración económica se propone comenzar con la definición de los bienes y servicios aportados por la bahía.

Los bienes y servicios aportados por el medio ambiente y los recursos naturales se concretan a través de las funciones ecológicas de los ecosistemas que lo conforman, por ello para la identificación de los bienes y servicios brindados por la bahía se propone utilizar la clasificación dada por Senslon, que agrupa estas funciones en cuatro grandes categorías: (Senslon, 1996)

- *Funciones de Regulación*
 1. Protección contra influencias cósmicas
 2. Regulación del balance de energía local y global
 3. Regulación de la composición química de la atmósfera
 4. Regulación de la composición química de los océanos
 5. Regulación del clima local y global
 6. Regulación de la escorrentía y prevención de inundaciones
 7. Captación y almacenamiento de aguas subterráneas

8. Prevención de erosión de suelos y control de sedimentos
9. Formación del suelo superficial y mantenimiento de la fertilidad del suelo
10. Fijación de energía solar y producción de biomasa
11. Almacenamiento y reciclaje de materia orgánica y nutrientes
12. Regulación de mecanismos de control biológico
13. Mantenimiento de hábitat de reproducción y migración
14. Protección de la biodiversidad

- *Funciones de soporte*

1. Hábitat Humano
2. Producción de cultivos
3. Conversión de energía
4. Recreación y turismo
5. Protección ambiental

- *Funciones de producción*

1. Agua
2. Alimento humano
3. Recursos medicinales
4. Materia prima para la construcción y uso industrial
5. Materia prima para ropas y uso casero
6. Bioquímicos (que no sean medicinales ni combustibles)
7. Combustible y energía
8. Forraje para animales
9. Recursos ornamentales

- *Funciones de información*

1. Información estética espiritual y religiosa
2. Inspiración cultural y artística
3. Información educacional y científica

Utilizando esta clasificación y la opinión de expertos, quienes definirán las funciones de la bahía, se precisarán los bienes y servicios, considerando el tipo de valor que ellas generan: los bienes, los que poseen valor de uso directo y los servicios, valor de uso indirecto y valor de no uso.

Para la creación del grupo de expertos se propone considerar la estructura por especialidades del mismo, además del nivel de experticidad de cada uno de los expertos que lo conforme, medido a través del coeficiente de competencia, el cual refleja el nivel de calificación del mismo en una esfera determinada del conocimiento (Oñate,1988). Este coeficiente, denotado por K , se calcula de acuerdo a la opinión del experto sobre su nivel de conocimiento acerca del problema que se está tratando y a las fuentes que le permiten argumentar sus criterios. El coeficiente K se obtiene con la siguiente expresión:

$$K = \frac{1}{2}(K_c + K_a)$$

K_c : Coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto acerca del problema, calculado sobre valoraciones propias del experto en una escala del 0 a 10 y multiplicada por 0.1

K_a : Coeficiente de argumentación del experto, obtenido como resultado de la suma de los puntos de acuerdo a la siguiente tabla-patrón:

Tabla 2.1 Tabla patrón para la estimación del coeficiente K_a

| <i>Fuente de argumentación</i> | Grado de influencia de cada una de las fuentes | | |
|--|--|--------------|-------------|
| | A (alto) | M (medio) | B (bajo) |
| 1. Análisis teóricos realizadas por Ud. | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 2. Su experiencia obtenida | 0.5 | 0.4 | 0.2 |
| 3. Trabajos de autores nacionales | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 4. Trabajos de autores extranjeros | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 5. Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 6. Su intuición | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

Al experto se le presenta esta tabla sin cifras, y él debe marcar con una cruz en las casillas correspondientes a aquellas fuentes que él considere hayan influenciado en su conocimiento de acuerdo al grado A, M o B.

Para que un experto sea considerado competente su coeficiente K debe ser al menos igual a 0.85, o sea $K \geq 0.85$.

Una vez identificados los bienes y servicios aportados por la bahía, se recomienda determinar aquellos que presentan mayor afectación, como consecuencia de la

contaminación. Para ello se diseñará una encuesta la cual se aplicará al grupo de expertos seleccionado.

Como resultado de la aplicación de esta encuesta se obtendrá una matriz $[A_{ij}]$ de orden $m \times n$ donde:

m: total de impactos

n: total de expertos

a_{ij} : evaluación que hace el experto j del nivel de importancia del impacto i en la escala propuesta.

Luego la matriz $[A_{ij}]$ se procesará utilizando el método de ponderación de criterios Rating (Tabucanon, 1988) para obtener un vector de pesos P_i , cuyas componentes representan el peso relativo de cada impacto, donde los valores mayores estarán asociados a aquellos impactos a la bahía más significativos.

La medición del efecto económico debe considerar todas los componentes de valor de la bahía, o sea, tanto los de uso directo e indirecto como los de no uso en sus diferentes dimensiones. El conocimiento de los mismos permitirá un análisis costo-beneficio para la evaluación de alternativas de solución a la problemática de la contaminación.

Los métodos de valoración son los mencionados en el capítulo anterior, para su selección deberá considerarse la disponibilidad y calidad de la información, así como las potencialidades y limitaciones de cada uno de ellos. También es necesario tener en cuenta las características de los bienes y servicios a valorar, por ejemplo el hecho de que ellos sean transados en el mercado o que contribuyan en la producción de bienes comercializados. Algunos de los posibles métodos a utilizar son:

- Metodología costo de sustitución. Valoraría los servicios proporcionados por la bahía utilizando un costo de sustitución, o sea, si ese servicio objeto de valoración fuese realizado a través de un medio construido por el hombre, lo que costaría su construcción y explotación sería equivalente al valor del

servicio. Este método permite valorar usos no reconocidos en el mercado; su limitación fundamental está en la dificultad de determinación de capacidad máxima del servicio natural.

- Valoración utilizando precios de mercado. Los métodos de valoración más sencillos son aquellos que se basan en los precios de mercado. Muchos de los bienes y servicios proveídos por la bahía son comercializados, ya sea en mercados locales o internacionales. Así, los precios de mercado pueden ser utilizados para construir cuentas financieras para comparar los costos y beneficios de las alternativas del uso de la bahía. Los precios son obtenidos en el mercado a través de la interacción entre los consumidores y productores sobre la demanda y oferta de los bienes y servicios. Cuando se utilizan precios de mercado en una valoración financiera es importante determinar el mercado apropiado.
- Método del coste de viaje. Este método se aplicaría para valorar las funciones de la bahía en su aspecto recreativo. Aunque en general el disfrute de la naturaleza es gratuito, la persona incurre en unos gastos para poder disfrutar de ella: unos costes de viaje. Si colocáramos en un eje vertical estos costes (en función de la distancia: combustible y tiempo), y en el eje horizontal el número de veces que la gente visita en promedio un sitio particularmente atractivo, desde una zona determinada, tendríamos, uniendo ambas observaciones, distintos puntos de una hipotética curva de demanda. Ello permitiría descubrir el excedente del consumidor de un "visitante representativo" y, a partir de ahí, aproximar el valor total de los servicios recreativos que la bahía proporciona, en función del número de visitantes y su origen geográfico. En una segunda etapa, mucho más exigente en términos de información requerida, se podría intentar construir la curva de demanda implícita del sitio, tomando en cuenta asimismo las características socioeconómicas de la persona, y los propios atributos del entorno.

- Valoración Contingente. Simula un mercado preguntando a las personas por su disposición a pagar por atributos ambientales, permitiendo así determinar el valor de la bahía en aquellos usos para los que no existe mercado; su mayor limitante está en la imposibilidad de generalizar el resultado, además que requiere que las personas entrevistadas conozcan el problema tratado.
- Métodos basados en la función de producción. Un cuarto tipo de método de valoración económica es el enfoque de la función de producción (también llamada técnica del cambio en la producción, método insumo-producto o dosis-respuesta). Este método relaciona el bienestar de las personas con un cambio medible en la calidad o cantidad de un recurso natural. El enfoque de la función de producción puede ser utilizado para estimar el valor de uso indirecto de los servicios ambientales, a través de su contribución a las actividades de mercado. El enfoque es referido como el método de la función de producción, porque muchos estudios estiman el impacto sobre la producción económica.

Etapa III. Evaluación de alternativas de reducción de contaminación.

La sobreexplotación de algún bien o servicio ambiental brindado por la bahía, incide negativamente en el resto de los bienes y servicios aportados, por tanto, los beneficios por el acometimiento de alguna acción que conlleve a la disminución de esta sobreexplotación, puede ser medida indirectamente utilizando indicadores tangibles asociados al consumo de los bienes y servicios, sin embargo no todos los indicadores pueden ser cuantificados con un valor monetario por las características del bien analizado o en ocasiones no se dispone de la información precisa para ello, no obstante, requieren ser considerados en el análisis a la hora de establecer planes de manejo de los servicios y bienes ambientales.

Lo planteado conlleva a proponer más de un método para la evaluación de las alternativas. El método análisis costo- beneficio pudiera ser utilizado de contarse con toda la información requerida para este tipo de evaluación, este aspecto

resulta difícil de lograr por lo anteriormente expuesto, por ello se propone realizar la evaluación de las alternativas de solución utilizando un enfoque multicriterio. Este enfoque evita dar prioridad a la evaluación financiera frente a la evaluación de los aspectos sociales y ecológicos, además de que garantiza la participación de los grupos de interés en la definición de los criterios de evaluación; otra gran ventaja de este enfoque es la posibilidad de incorporar en sus análisis la incertidumbre presente en el funcionamiento del sistema.

Las alternativas de reducción de la contaminación a la bahía definen un conjunto finito, por lo que los métodos a utilizar para su evaluación son los multiatributos o discretos.

2.2 Los métodos multicriterio discretos.

Los métodos multiatributos se enmarcan dentro de diferentes enfoques los cuales difieren según los supuestos y los principios elegidos en cada una de las fases de evaluación, que se enumeran a continuación:

- Definición del problema.
- Definición de una serie de criterios de evaluación.
- Identificación del sistema de preferencia del centro decisor.
- Elección de un método de agregación.

Definición del problema.

Los resultados de cualquier modelo de decisión depende en gran medida de la información disponible, a su vez esa información depende de la fase de formulación y definición del problema. Por ello, la fase de definición del problema y la elección del tipo de modelo están estrechamente interrelacionadas.

Definición de criterios

En esta fase compiten dos tendencias opuestas: por un lado, el aumento del número de criterios para construir un modelo más realista y por otro lado , la utilización de un número limitado de criterios, para que el modelo sea más sencillo

y fácil de aplicar. En general, el conjunto de criterios debe tener dos cualidades: (Munda, 1997)

- Legibilidad: Un número suficientemente pequeño de criterios para ser base de una discusión.
- Operabilidad: Todos los actores deben considerar a la familia de criterios como una base sólida para la evaluación.

Identificación del sistema de preferencia del centro decisor.

Las preferencias son incluidas en el modelo, a través de procesos de ponderación de criterios. Según el marco en que los pesos de criterios sean utilizados, ellos representaran en algunas ocasiones la importancia relativa entre criterios y en otras situaciones serán factores de escala cuyo significado estará asociado a un ratio de equilibrio. Existen varios métodos para determinar las prioridades de los decisores en la forma de índices de ponderación:

- Estimación directa de los índices de ponderación: método de la tasa de intercambio (trade-off), método de puntuación, método de clasificación, declaraciones orales, comparación dos a dos.
- Estimación indirecta: Se basa en elecciones pasadas, en la clasificación de alternativas, estimación interactiva de pesos.

Procedimiento de agregación.

Es esta la fase que genera mayor diversidad de enfoques en el análisis multicriterio. La agregación de las evaluaciones de las alternativas expresadas acorde diferentes criterios implica algún tipo de compensación. Es por ello que los métodos multicriterio, considerando la lógica de compensación adoptada, puedan ser clasificados en: (Guitouni y Martel, 1998)

- No compensatorios. Ninguna compensación entre las evaluaciones de los criterios es admitida. El método lexicográfico es un ejemplo de este enfoque, el mismo consiste en ordenar las alternativas según el orden de importancia estricta previamente declarado por el decisor. O sea, si el decisor ordena m criterios g de la siguiente manera: $g_1 >..> g_i >..> g_m$, donde g_1 es el criterio de mayor

importancia, todas las alternativas son ordenadas según el criterio g_1 , si existen alternativas indiferentes, estas son examinadas según el segundo criterio y así sucesivamente.

- Compensatorios. En este caso se admite una compensación absoluta entre las diferentes evaluaciones. Por tanto, una buena evaluación en un criterio puede fácilmente contrarrestar un resultado pobre en otro. En este grupo pueden ubicarse los métodos con el enfoque de la teoría de la utilidad multiatributo (TUMA) y el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ).

2.2.1 El Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ).

El proceso de análisis jerárquico es uno de los métodos multiatributo que cuenta con un gran número de aplicaciones en esferas de las más variada naturaleza, que van desde la planificación empresarial, planificación estratégica, selección de proyectos, inversiones y equipos, investigación comercial, auditoría, etc. hasta la resolución de conflictos internacionales (Barba - Romero, 1996).

El mismo ha tenido un gran impacto tanto a nivel teórico como aplicado (Romero, 1993). Su originalidad y rigor matemático han contribuido al amplio reconocimiento de este método dentro de las técnicas de apoyo a la decisión.

Este método fue desarrollado por Saaty (1980). El mismo estructura el problema de decisión en niveles que se corresponden con la comprensión que se tiene de la situación: metas, criterios, subcriterios y alternativas (Figura 2.3)

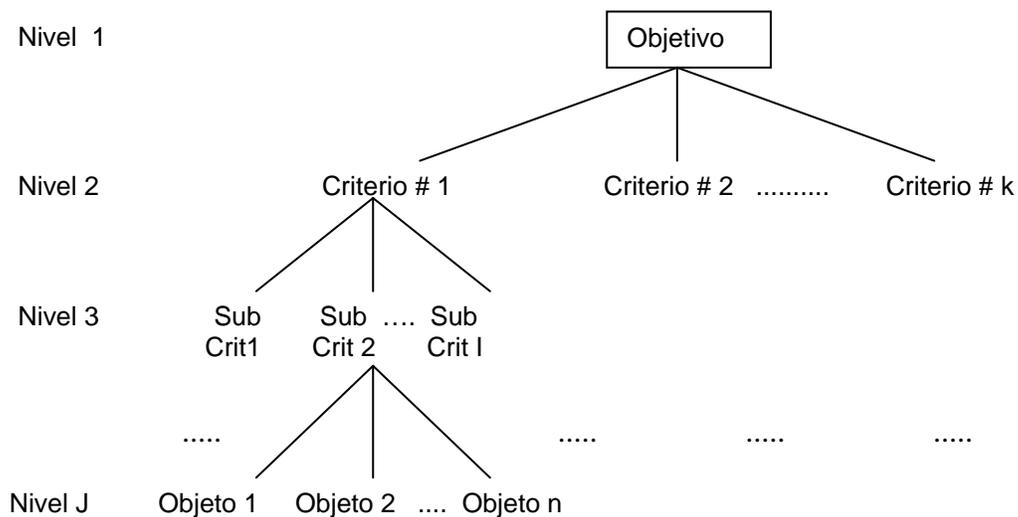


Fig. 2.3 Estructura Jerárquica, Zahedi (1986)

La figura muestra en cada nivel de jerarquía, grupos de varios elementos. En el segundo nivel se discriminan los criterios fundamentales. En el tercero, los subcriterios correspondientes a cada criterio fundamental y así sucesivamente. En el último nivel se especifican los elementos de decisión entre los que se debe seleccionar.

Al dividir el problema en niveles, el tomador de decisiones puede centrarse en conjuntos más pequeños de decisiones. El PJA está basado en cuatro axiomas principales:

1. Reciprocidad. Dadas dos alternativas (o subcriterios) cualesquiera, el tomador de decisiones puede comparar ambas alternativas bajo cualquier criterio en una escala de razón recíproca.
2. Homogeneidad. Cuando se comparan dos alternativas, el tomador de decisión nunca juzga a una como infinitamente superior a la otra, bajo ningún criterio.
3. Dependencia. Los problemas de decisión pueden ser formulados como una jerarquía.
4. Expectativas. Todos los criterios y alternativas que tiene un impacto en un problema de decisión se representan en la jerarquía.

Los axiomas mencionados describen las funciones básicas del PJA: Formular y resolver problemas como una jerarquía y formar una opinión comparando dos alternativas. La obtención de prioridades para un conjunto dado de alternativas con respecto a un criterio se logra a través de la construcción de una matriz cuadrada de orden n , n es el número de alternativas consideradas, donde se recogen las puntuaciones que el decisor concede a las comparaciones pareadas de alternativas, las cuales representan la importancia relativa de las mismas en una escala entre 1 y 9 que se precisa en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Escala fundamental para comparaciones a pares

| Intensidad de Importancia | Definición | Explicación |
|---------------------------|---|--|
| 1 | Igual | Dos actividades contribuyen de igual modo al objetivo |
| 3 | Moderada | La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra |
| 5 | Fuerte | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra |
| 7 | Muy fuerte o demostrada | Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica |
| 9 | Extrema | La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara |
| 2,4,6, y 8 | Para transar entre los valores anteriores | Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes |

Fuente: Saaty, 1995

Esta matriz cumplirá la siguiente relación, que se deduce del carácter comparativo de sus componentes:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (2.1)$$

siendo a_{ij} la componente correspondiente a la fila i y columna j de la matriz, que representa el cociente entre la importancia relativa de la alternativa i y la alternativa j según la citada escala del 1 al 9. De ello se deduce que los componentes de la diagonal de la matriz serán lógicamente la unidad, dado que son el resultado de la comparación de una alternativa con ella misma.

A partir de esta matriz, Saaty (Saaty,1980) demuestra que los valores de la importancia relativa de las diversas alternativas corresponden a las componentes del vector propio asociado al único valor propio no nulo de una matriz de decisión, al que denomina “vector de prioridades”. Además, propone un coeficiente o ratio de consistencia (C.R. o “Consistency Ratio”) para evaluar la coherencia del juicio emitido y, por tanto, de la toma de decisión. La formulación de dicho índice la plantea a través de la expresión:

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (2.2)$$

donde $C.I.$ es un “índice de consistencia” (consistency index) de la evaluación que define como:

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.3)$$

donde λ_{\max} es el máximo valor propio de la matriz y n su orden. Por otro lado, en la definición del índice *C.R.* recogida en la expresión 2.2 se introduce también un índice de aleatoriedad (random index o R.I.), que se describe como el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria. Para ello, Saaty (1980) realiza el estudio de todas las posibilidades de variación que resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Índices de consistencia aleatoria de las matrices según su orden

| Orden de la matriz(n) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Índice de consistencia aleatoria (R.I.) | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 |

Fuente: Saaty, 1980

De la definición del índice *C.R.* se extrae que cuanto más pequeño sea *C.I.*, más coherente será la evaluación realizada. Es interesante observar al respecto que, según esto, el máximo valor propio de una matriz no puede ser inferior a n y por tanto el valor de *C.I.* será siempre igual o superior a cero. Además, Saaty (1980) extrae una recomendación para los valores del *C.R.* aceptables, fijando una frontera del 10% (o un valor de *C.R.* de 0,10) para calificar de buena una estimación, de modo que serían aceptables resultados hasta un 15% de tolerancia (*C.R.* = 0,15). Las evaluaciones a pares deberán realizarse nuevamente en caso de que la inconsistencia esté por encima del 10%; este ejercicio recurrente mejora sustancialmente la consistencia, haciendo que en pocas repeticiones se consiga influir sobre el índice de consistencia.

Después de crear un conjunto de ponderaciones para cada alternativa bajo cualquier criterio, la prioridad global de las alternativas se calcula por medio de una función lineal y aditiva.

Este método posee una poderosa implementación informática Expert-Choice, el cual facilita la aplicación del método, brindado una interfase cómoda al usuario que lo guía en el proceso de estructurar la decisión en objetivos y alternativas, en la medición de los objetivos y alternativas a través de las comparaciones pareadas. Sintetiza los juicios objetivos y subjetivos emitidos llegando al vector de

ponderaciones de las alternativas, utilizados para el ordenamiento de las mismas, además que posibilita un análisis de sensibilidad.

Brevemente se han expuesto las características y potencialidades del PAJ como método para evaluar un conjunto de alternativas utilizando simultáneamente varios criterios de evaluación. El procedimiento a seguir para su aplicación puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Preparación para la aplicación.

Aquí deben quedar definidos los participantes, los cuales deben ser cuidadosamente seleccionados, de manera que se garantice la representatividad del modelo. También deben precisarse las fuentes de información a utilizarse.

2. Estructuración del modelo jerárquico.

En esta fase se definen los criterios y las alternativas a evaluar. En una primera instancia se definen los criterios estratégicos que participan en la decisión ; por lo general estos criterios son a nivel macro y representan los objetivos a satisfacer con las acciones representadas en las alternativas, una vez hecho esto, se procede a desglosar cada uno de los criterios definidos hasta llegar a un nivel de especificación que facilite el análisis y comparación de las alternativas.

3. Evaluación del modelo.

En esta etapa se realiza la emisión de los juicios, en base a la información obtenida o a la percepción de los actores del proceso se ingresan los juicios para cada par de elementos. Se comienza del primer nivel, donde se encuentran los criterios estratégicos, se compara su importancia relativa con respecto del logro del objetivo general, luego se desciende en los niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas, las que son evaluadas en base a criterios técnicos más fáciles de tratar. Por último se realiza la síntesis de las prioridades desde el primer nivel de la jerarquía, obteniéndose el vector de prioridades de las alternativas, que puede ser interpretado como un ordenamiento de las mismas y por tanto la recomendación de qué decisión tomar.

Por último debe realizarse un análisis de sensibilidad, con el objetivo de lograr una mayor confiabilidad en la decisión; este análisis consiste en establecer el rango de variación del peso relativo de los criterios estratégicos que soportan la decisión, sin cambiar la alternativa propuesta.

- Parcialmente compensatorios. En este caso, algún tipo de compensación es aceptada. Clasifican en este grupo los métodos de superación. Aquí se encuentra la familia de los ELECTRE, la familia Promethee, el Melchor, el Oreste, el NAIADE, entre otros (Munda, 1997)

2.2.2 El Método NAIADE.

El NAIADE (**N**ovel **A**pproach to **I**mprecise **A**ssessment and **D**ecision **E**nvironments, Enfoque Novedoso de Evaluación y Decisión sobre Ambientes Imprecisos), es un método de evaluación multicriterio discreto creado por Munda en 1995, el mismo permite incluir en su matriz de evaluación medidas determinísticas, estocásticas y difusas, como valoración de las alternativas según cada criterio. O sea el NAIADE es capaz de tratar la incertidumbre, sea de naturaleza borrosa o probabilística, esto lo hace a través del uso de la teoría de los conjuntos borrosos.

El proceso de evaluación de este método se estructura en tres pasos:

1. Comparación pareada de alternativas.
2. Agregación de todos los criterios.
3. Ordenamiento de las alternativas.

1. Comparación pareada de alternativas.

La comparación de las diferentes tipos de evaluaciones (valores determinísticos, números borrosos y variables lingüísticas) de las alternativas en cada criterio se realiza a través de la distancia semántica, que se define:

Dados dos conjuntos borrosos $\mu_{A_1}(x)$ y $\mu_{A_2}(x)$, se definen las funciones :

$$f(x) = k_1 \mu_{A_1}(x) \quad \text{y} \quad g(x) = k_2 \mu_{A_2}(x)$$

Donde $f(x)$ y $g(x)$ son funciones obtenidas escalando las ordenadas de $\mu_{A_1}(x)$ y $\mu_{A_2}(x)$ a través de k_1 y k_2 , de manera que:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} g(y)dy = 1$$

La distancia semántica $S_d(f(x), g(y))$ entre dos conjuntos borrosos se define como:

Si $f(x): X = [X_L, X_U]$ y $g(y): Y = [Y_L, Y_U]$ entonces

$$S_d(f(x), g(y)) = \int \int_{X \times Y} |x - y| f(x)g(y) dx dy$$

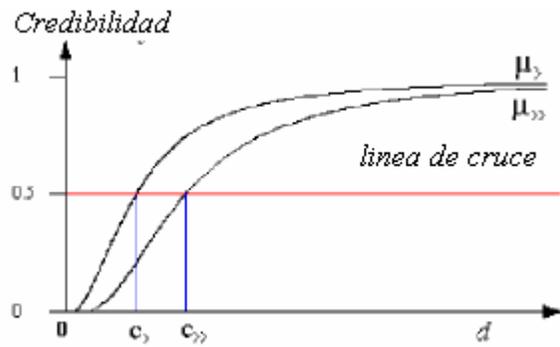
Las comparaciones se basan en relaciones de preferencias expresadas por el usuario, para cada criterio, partiendo de la distancia entre alternativas. Las relaciones de preferencias son definidas a través de seis funciones que permiten expresar para cada criterio, un índice de credibilidad de la afirmación que una alternativa es *mucho mejor* (\gg), *mejor* (\gt), *aproximadamente igual* (\cong), *igual* (\equiv), *peor* (\lt) y *mucho peor* (\ll) que otra. El índice de credibilidad va desde cero hasta uno, donde el uno significa que la afirmación es definitivamente creíble y el cero que es definitivamente no creíble. Para el cálculo de estos índices es necesario fijar los llamados “punto de cruce” para cada criterio (C), los cuales se interpretan como el valor de distancia a partir del cual la relación de preferencia en cuestión comienza a ser creíble, desde el punto de vista matemático se expresa como el valor de distancia donde el índice de credibilidad se hace igual a 0.5.

A continuación se muestran la definición de las seis relaciones de preferencia mencionadas:

| | |
|---|--|
| <p>“ mucho mejor ”</p> $\mu_{\infty}(d) = \begin{cases} 0 & \text{para } d < 0 \\ \frac{1}{\left(1 + \frac{C_{\infty}^2 (\sqrt{2} - 1)}{d^2}\right)^2} & \text{para } d \geq 0 \end{cases}$ | <p>“ mejor ”</p> $\mu_{\gt}(d) = \begin{cases} 0 & \text{para } d < 0 \\ \frac{1}{\left(1 + \frac{C_{\gt}^2}{d^2}\right)} & \text{para } d \geq 0 \end{cases}$ |
|---|--|

Las relaciones de preferencias anteriores se muestran gráficamente en la siguiente figura:

Fig.2.4 Relaciones de preferencias “mejor” y “mucho mejor”



“aproximadamente igual”

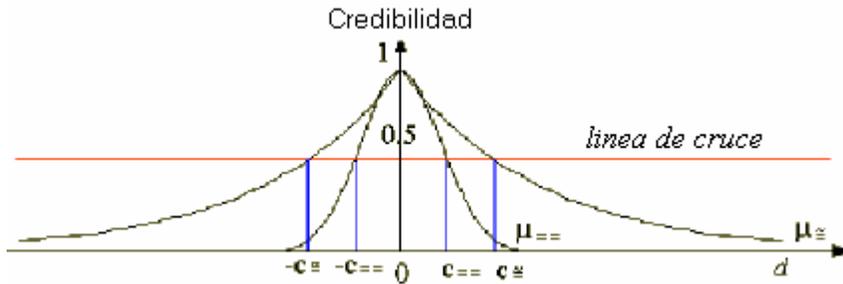
$$\mu_{\approx}(d) = e^{-\left(\frac{\log 2}{c_{\approx}}|d|\right)} \quad \forall d$$

“igual”

$$\mu_{=}(d) = e^{-\left(\frac{\log 2}{c_{=}}d^2\right)} \quad \forall d$$

Estas relaciones de preferencias se muestran en la siguiente figura:

Fig.2.5 Relaciones de preferencias “aproximadamente igual” e “igual”



“mucho peor”

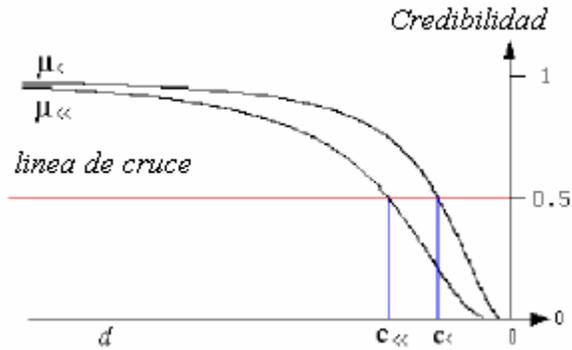
$$\mu_{\ll}(d) = \begin{cases} 0 & \text{para } d > 0 \\ \frac{1}{\left(1 + \frac{c_{\ll}^2(\sqrt{2}-1)}{d^2}\right)^2} & \text{para } d \leq 0 \end{cases}$$

“peor”

$$\mu_{\leq}(d) = \begin{cases} 0 & \text{para } d > 0 \\ \frac{1}{\left(1 + \frac{c_{\leq}^2}{d^2}\right)} & \text{para } d \leq 0 \end{cases}$$

En el siguiente gráfico se muestran estas relaciones de preferencias:

Fig.2.6 Relaciones de preferencias “peor” y “mucho peor”



Calculado todos los índices de credibilidad para cada par de alternativa y para cada criterio, basado en las seis relaciones de preferencia, se procede al proceso de agregación de los mismos.

2. Agregación de todos los criterios

Se calcula un índice de intensidad de preferencia, a partir del número de criterios a favor de cada alternativa y de la intensidad de preferencia. Un parámetro α se usa para expresar el requerimiento mínimo en los índices de credibilidad: el criterio se incluirá en el proceso de agregación solo si su índice de credibilidad es mayor que α . El índice de intensidad $\mu^*(a,b)$ de preferencia * (donde * representa las preferencias >>, >, \cong , =, <, <<) de la alternativa a versus b se define como:

$$\mu^*(a,b) = \frac{\sum_{m=1}^M \max(\mu_*(a,b)_m - \alpha, 0)}{\sum |\mu_*(a,b)_m - \alpha|} \quad M: \text{total de criterios}$$

Se calcula un índice que expresa la variabilidad de los índices de credibilidad que están por encima del valor α y alrededor de los valores de cruce, denominado entropía ($H^*(a,b)$).

La información dada por el índice de intensidad de preferencia, $\mu^*(a,b)$ y la correspondiente entropía, $H^*(a,b)$, posibilita la construcción de un operador de verdad τ , el cual permite asignar a cada par de alternativa una evaluación lingüística global, que indica el grado de verdad de afirmaciones como: “según la

mayoría de los criterios, a es mejor que b o a y b son indiferentes o a es peor que b ".

Por último, si el interés del decisor está en determinar un orden parcial o completo de las alternativas, se pasa al último paso de ordenamiento de las mismas.

3. Ordenamiento de las alternativas.

Para lograr este ordenamiento se definen dos ordenamientos independientes. El primero $\phi^+(a)$ basado en las relaciones de preferencias \gg y $>$, cuyos valores van de 0 a 1, donde el 1 indica que a es mejor que el resto de las alternativas. El segundo $\phi^-(a)$, se basa en las relaciones de preferencias \ll y $<$, sus valores también van de 0 a 1 los cuales indican cuanto a es peor que el resto de las alternativas. Estos índices de ordenamiento se calculan a través de las siguientes expresiones:

$$\phi^+(a) = \frac{\sum_{n=1}^N (\mu_{\gg}(a,n) \wedge C_{\gg(a,n)} + \mu_{>}(a,n) \wedge C_{>(a,n)})}{\sum_{n=1}^N C_{\gg}(a,n) + \sum_{n=1}^N C_{>(a,n)}}$$

$$\phi^-(a) = \frac{\sum_{n=1}^N (\mu_{\ll}(a,n) \wedge C_{\ll(a,n)} + \mu_{<}(a,n) \wedge C_{<(a,n)})}{\sum_{n=1}^N C_{\ll}(a,n) + \sum_{n=1}^N C_{<(a,n)}}$$

Donde N es el número de alternativas, $C_*(a,b) = 1 - H_*(a,b)$ es el nivel de entropía asociado al índice de intensidad de preferencia y el operador \wedge , que puede ser sustituido por el operador mínimo, el cual no concede compensación alguna entre los criterios y por el operador de Zimmermann-Zysno el cual permite variar el grado de compensación a través del parámetro γ , desde un mínimo de compensación (0) hasta la máxima compensación (1).

Finalmente se obtiene el ordenamiento por la intersección de los ordenamientos definidos.

El método multicriterio NAIADE, está implementado computacionalmente, presenta una interfaz amigable con el usuario, que permite definir las alternativas y criterios, estos últimos pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo determinístico, borroso o estocástico, en cada caso se deben definir los valores de cruce, lo cual es posible hacer gráficamente o especificando el valor. Luego de creada la matriz se realizan los cálculos, para los mismos el software brinda la opción de cambios de parámetros para la síntesis de la información.

La decisión de qué método multicriterio utilizar ante una situación, es un problema multicriterio en si mismo, pues esta decisión debe ser tomada considerando un conjunto de atributos como son:

- Información disponible en término de su calidad, cantidad y otras características de la misma.
- Objetivos propuestos con el análisis.
- Tiempo para procesar la información.
- Disponibilidad de software para la búsqueda de la solución.
- Estructura del problema, lo cual puede discriminar el uso de determinada técnica.
- Conocimiento del especialista de las técnicas multicriterio.

Además de lo dicho, vale señalar que la efectividad de la aplicación de estos métodos depende del contexto . En el caso que nos ocupa, donde el interés está en seleccionar la mejor alternativa de reducción de contaminación, donde la información que se dispone es incierta en determinados renglones, como por ejemplo, la respuesta de la bahía ante la reducción de diferentes niveles de reducción, además que algunos resultados de las acciones no será posible su medición en términos monetarios, obliga a pensar en métodos consistentes con estas características.

Como resultado de este capítulo se obtuvo un procedimiento que permitirá evaluar los efectos de la contaminación en la bahía de Cárdenas, lo cual brindará la información necesaria a la toma de decisiones para mejorar la calidad ambiental de dicho ecosistema.

Capítulo III. Evaluación de los efectos de la contaminación en la bahía de Cárdenas.

En el presente capítulo se exponen los resultados de la aplicación del procedimiento metodológico propuesto, diseñado con el propósito de evaluar económicamente los efectos de la contaminación en la bahía de Cárdenas, ubicada en el Municipio de Cárdenas, provincia de Matanzas.

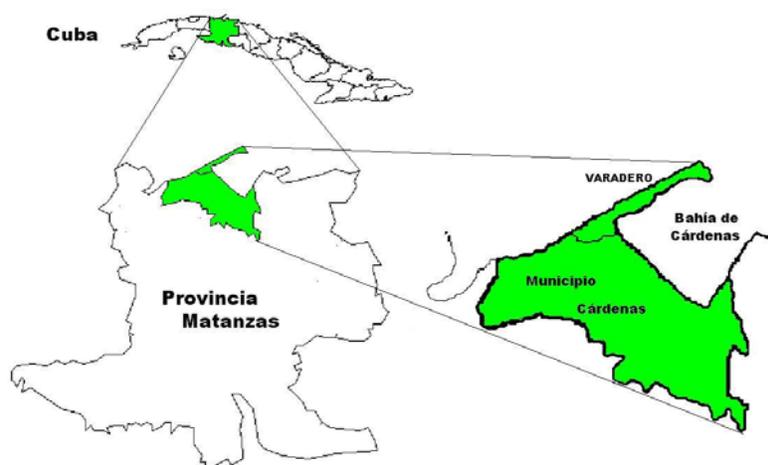
Los problemas de contaminación en la bahía constituyen una prioridad dentro de las acciones reflejadas en la Estrategia Ambiental de este municipio, aprobada por la dirección provincial del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.

Para determinar los límites del área de estudio, así como la zona de influencia, se tuvo en cuenta la incidencia de la bahía sobre su entorno y viceversa, considerando las actividades socioeconómicas que se desarrollan en ella y en sus alrededores. Se define la bahía como área de estudio, considerando que el efecto de su contaminación es el objeto de evaluación y la zona de influencia esta determinada por la tierra firme que recibe los beneficios de los bienes y servicios aportados por la bahía, además de que la impactan con el desarrollo de actividades socioeconómicas, la ciudad de Cárdenas.

3.1 Diagnóstico socio económico ambiental.

La ciudad de Cárdenas está ubicada al norte del municipio de Cárdenas, el cual se encuentra situado en la parte norte de la provincia de Matanzas, limitando al norte con el estrecho de la Florida y el municipio de Varadero, al sur con el municipio de Jovellanos, al este con los municipios de Martí y Perico y al oeste con los municipios de Matanzas y Limonar. Posee una superficie de 564.84 Km², lo que representa el 14.8% del total provincial y el 0,5% del país.

Fig. 3.1 Mapa del municipio de Cárdenas.



3.1.1 Breves aspectos históricos de la ciudad de Cárdenas.

El surgimiento de la ciudad de Cárdenas estuvo condicionado por el desarrollo de la industria azucarera en el siglo XIX, pues en la región que hoy ocupa el municipio de Cárdenas existían las condiciones propicias para el desarrollo de esta industria: tierras fértiles y cercanas a las zonas costeras y bosques que proporcionaban maderas para trapiches, construcción de carreteras y edificios, además de abundante leña para las calderas.

Al desarrollarse esta industria, además del fomento de otros cultivos como el café, legumbres, maíz y tabaco, en los terrenos de esta zona era necesario disponer de un puerto para dar salida a estos productos, así fue como surge el pueblo de Cárdenas, como consecuencia de una necesidad económica.

Cuentan los historiadores que la tarea de la construcción del poblado cardenense fue una labor titánica, pues las condiciones del terreno no eran apropiadas para tal empeño, ya que el litoral de la zona estaba rodeado de ciénagas con lugares más bajos que el nivel del mar, bancos de arena, además de la poca profundidad de las aguas. Todo ello obligó a rellenar terrenos, desmontar montes y construir terraplenes. Bueno señalaba esta tarea como la epopeya del pueblo que venció al mar, agregando que le fue arrancado a golpe de látigo, cerca de medio kilómetro al océano, donde se levantaron casas y almacenes. (Bueno, 1981)

Portell Vilá en el prólogo del libro de Hellberg, decía "...la dura labor de la conquista del mar y de los elementos de la naturaleza hostiles y opuestos al vigor y a la determinación de los primeros cardenenses que a la postre vencieron..."(Hellberg, 1957)

De lo dicho puede afirmarse que Cárdenas es una ciudad surgida del mar como resultado de la conquista de la naturaleza por el hombre. ¿Significa entonces que el surgimiento del pueblo de Cárdenas es una muestra del no-reconocimiento del valor de la naturaleza? Por supuesto que no, aunque la manera de referir el surgimiento de la mencionada ciudad por los autores citados así lo parezca.

Como ya se dijo, la ciudad surge como consecuencia de una necesidad específica del momento; y es posible gracias a la presencia de los valores naturales del lugar, que el hombre transforma y usa, haciendo posible la creación de nuevos valores, a través de su inteligencia creadora para desarrollarse.

Así, en el año 1828 es fundado el poblado de Cárdenas que, a los 25 años de fundado, por su prosperidad, es declarado villa y el 28 de diciembre del 1866 ciudad. Pueden mencionarse como hechos históricos relevantes que dan fe de la prosperidad de Cárdenas en los primeros años posteriores de su fundación: la inauguración el 24 de junio de 1840 del llamado camino de hierro (tramo Cárdenas - Jovellanos), que constituyó el segundo ferrocarril construido en los dominios de España, el que favoreció en gran medida la prosperidad de Cárdenas y el auge de numerosos pueblos a los cuales se extendió dicho servicio, la instalación del primer museo en Cuba en 1847, la apertura del primer centro médico y farmacéutico en 1882, la construcción de la primera refinería de azúcar en Cuba en 1884, la inauguración en septiembre de 1889 del servicio eléctrico para el alumbrado público, el surgimiento de la primera fábrica de papel bagazo.

3.1.2 Situación socioeconómica ambiental de la ciudad de Cárdenas.

El relieve es marcadamente llano, sus costas son típicas de sumersión pantanosa en el tramo comprendido de Cárdenas al municipio de Varadero, de emersión en la parte que va del límite con Varadero y el municipio de Matanzas, interrumpido por pequeñas playas. Cuenta con un puerto ubicado en el litoral de la ciudad que

llegó a ser, hasta mediado de los años noventa, uno de los más importantes de la provincia. Posee yacimientos minerales no metálicos (piedras fundamentalmente) y combustibles (petróleo y gas acompañante); el suelo predominante es el ferralítico rojo. La temperatura media anual es de veinticinco grados y el promedio de precipitaciones al año de 1205 mm, con vientos predominantes del este y este-nordeste.

Cárdenas es la segunda ciudad en jerarquía de la provincia por su extensión territorial, desarrollo urbanístico, político social y económico. Constituye el segundo polo de atracción industrial, pues en ella se encuentran enclavadas las principales industrias que fundamentan el desarrollo económico del municipio, por tanto, constituye un pilar fundamental en la economía de la provincia.

Según datos publicados por la Dirección de Arquitectura y Urbanismo municipal (D.A.U) correspondientes al año 2000, la ciudad cuenta con una extensión territorial de 59,96 Km², y una población de 78 105 habitantes distribuidos en seis consejos populares. A continuación se muestra la cantidad de habitantes y la extensión territorial que ocupa cada consejo popular así como su ubicación geográfica.

Tabla 3.1: Consejos Populares y sus características

| Consejos Populares | Cantidad habitantes | Extensión (Km ²) |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Marina | 14 513 | 6.01 |
| Fundición | 8 362 | 1.96 |
| Versalles | 16 072 | 21.77 |
| Pueblo Nuevo Sur | 11 259 | 24.46 |
| Pueblo Nuevo Norte | 16 778 | 1.68 |
| Fructuoso Rodríguez y 13 de Marzo | 11 121 | 4.08 |
| Total | 78 105 | 59.96 |

Fuente: DAU 2000



Fig. 3.2 Ubicación geográfica de los consejos populares

La ciudad de Cárdenas, al formar parte de la sub-región, Matanzas-Cárdenas-Varadero, tiene un importante papel en lo que a fuerza laboral se refiere, por ser la principal fuente de recursos humanos del municipio de Varadero y parte de los trabajadores a la ciudad cabecera de Matanzas. De ahí que existan estrechos vínculos entre estas zonas desde el punto de vista social y económico, sin dejar de mencionar que posee relaciones sociales, productivas y de servicios con todos los demás municipios de la provincia.

La ciudad presenta algunas contradicciones económicas, ya que existe un deterioro de las tradiciones histórico económicas de la misma, donde actividades de sólidas raíces se han desvirtuado, como por ejemplo: las de astilleros, la portuaria y la azucarera, debido principalmente a las fluctuaciones laborales y al reacomodo económico de las empresas.

El deterioro de las condiciones higiénico sanitarias es uno de los principales problemas ambientales que afectan a la ciudad. Los residuales domésticos se acumulan en fosas que vierten al subsuelo los residuos líquidos. El 7% de la población, ubicada en los repartos 13 de Marzo y Fructuoso Rodríguez, vierten sus residuales a las lagunas de oxidación correspondientes, las cuales requieren

de reparaciones y continuo mantenimiento. El deterioro de la red de abasto producto a la longevidad del mismo y la falta de inversiones para mantenerla, unido al excesivo incremento de las construcciones de viviendas, han provocado que existan zonas de la ciudad con déficit de agua, donde las personas tienen que abastecerse mediante pipas o pequeñas tuberías que sobresalen en las zanjas de las aceras. La aparición de micro vertederos, motivados por la recogida irregular de los desechos domésticos, la insuficiencia en el barrido de las calles y la carencia de carros limpia-fosas, así como la creciente indisciplina social en el mantenimiento y cuidado de la limpieza en la ciudad, permiten que no se mantengan las condiciones higiénico sanitarias adecuadas.

Dado la carencia de sistemas de tratamientos a las aguas residuales industriales, la contaminación al manto freático es uno de los mayores problemas que presenta actualmente la ciudad.

Los consejos populares de Marina y Fundición, al ser los más cercanos a la bahía y sus costas, se encuentran casi a nivel del mar, lo que ocasiona que existan zonas con mayor dificultad para la evacuación de los desechos líquidos, lo que contribuye a los desbordamientos de fosas y a la existencia de lino en las zanjas, sin dejar de mencionar que ante cambios climatológicos y fenómenos naturales que ocasionan lluvias, estas zonas quedan completamente inundadas.

La bahía de Cárdenas ha estado durante décadas recibiendo los residuales de las industrias de su periferia lo que ha provocado un gran deterioro de la calidad de sus aguas con la correspondiente afectación a sus ecosistemas. Entre las principales afectaciones se encuentran las pérdidas de especies de la flora y la fauna marina, deterioro de los cayos de la zona y su vegetación, así como la imposibilidad de poder utilizar por parte de la población la playa como balneario.



Fig. 3.3 Condiciones de la playa producto del vertido industrial



Fig. 34 Pérdida de la vegetación en la zona

3.1.3 Caracterización Físico Geográfica de la Bahía de Cárdenas.

La bahía de Cárdenas tiene una extensión superficial de 514,2 Km² y puede ser considerada como una amplia laguna costera, o como un estuario; presenta aguas poco profundas, entre 3 y 5 metros, disminuyendo gradualmente hacia las costas y con muy escasos aportes de agua dulce.

Se ubica en la costa norte de la provincia de Matanzas, entre Punta de Morlas, (23° 12' N, 81° 07' O) y los cayos de la Manuy, 7.4 millas al SO de Punta de Morlas. Está limitada al NO por la estrecha península de Hicacos, cuyo extremo Este es Punta de Morlas y al SO y SE por la costa firme de la Isla de Cuba, formando un seno cuadrangular de 18,8 millas aproximadamente.

Los vientos predominantes son los Alisios del Este, presentando velocidades medias de alrededor de 5 metros por segundo, con una duración media de más de 10 horas; durante el invierno soplan con cierta frecuencia vientos del Norte acompañados de lluvias de baja intensidad. Las precipitaciones son del orden de los 1300 mm anuales, donde el 80 % se corresponde con el período lluvioso. La influencia oceánica es uno de los principales agentes modificadores y responsables en parte de las características del clima. Las temperaturas medias mensuales en la costa son gradualmente mayores con mínimas en las áreas cercanas al mar. La temperatura media anual es de 24,1°C, la máxima media anual es de 31,6°C y mínima media anual de 18,1°C, en los meses de verano hasta 34,1°C. La humedad relativa media es mayor en la costa que en el interior, en el período húmedo oscila entre el 70 y 75%, según (González, 1999)

3.1.4 Geomorfología, Paisajes y usos del litoral de la bahía de Cárdenas.

Desde el punto de vista geomorfológico constituye una llanura costera, lacuno - palustre - acumulativa no diseccionada, con costas de manglares cenagosos y de esteros. Es una bahía baja en unos tramos, acantilados en otros, esmaltadas de espacios arenosos y salpicadas de ciénagas; las costas de Cárdenas presentan variada naturaleza, bordeándola cayos bajos y arrecifes.



Fig 3.5 Mapa de la bahía de Cárdenas

El tramo costero Oasis - Kawama se encuentra limitado por las playas de Camacho y Oasis, presentan una superficie de terraza abrasiva baja (0-2m) formada por rocas calizas, arrecifales, areniscas, conchas y arenas gruesas. Las playas Oasis-Kawama, de gran importancia turística y recreativa, son de tipo abrasivo-acumulativo, formado por arenas finas de color blanco-amarillento.

La laguna de Paso Malo constituye un paisaje totalmente modificado por la actividad del hombre, además, es una zona de intercambio natural entre la costa Norte de Varadero y la Bahía de Cárdenas, estando vinculadas desde su interior con el sistema de lagunas que se extiende al Sur de la autopista.

En el tramo costero al Sur de la Península de Hícacos es posible diferenciar dos subtramos, uno entre Isla del Sur y la calle 44 y otro de ésta a la punta de la

península. La Isla del Sur es un paisaje modificado formado por una terraza abrasiva-cársica, baja (0-2m), donde aparecen arrecifes, arenas gruesas y gravas cubiertas por escombros y desechos provenientes de la urbanización. En la zona costera que corre paralela al canal de Paso Malo se encuentra una superficie de terraza baja (0-1m) acumulativa y pantanosa con un entorno forestal conformado por una vegetación de manglares, patabán y gramíneas altas que están siendo cubiertas por material de relleno derivado de la actividad constructiva.

Entre el Canal del Sur y la Puntilla se presenta una superficie de terraza baja (0-1m) formada por arenas fangosas y turbias. Se encuentran pequeñas áreas de manglares muy degradados siendo la vegetación predominante de pastos bajos. La parte Norte del Canal hasta la calle 44 está conformado por una terraza baja (1-2m) calcárea con suelo rojo pedregoso, y vegetación de pastos con árboles aislados.

En el segundo subtramo, de la calle 44 al Hotel Siboney, una terraza calcárea baja (1-2m) con suelo rojo pedregoso fragmentario y árboles aislados. A continuación aparece la costa en su estado natural formando una franja de manglares degradados de tipo abrasivo-acumulativo con restos calcáreos. Desde el entronque de la autopista Sur hasta el Laguito se encuentra formado por una terraza calcárea de 5-10m de altura, formando acantilados con vegetación de maniguas costeras. Este es discontinuo, en la cercanía del antiguo campamento de pioneros donde se presenta una terraza abrasiva, conformado por calizas arrecifales, areniscos y cantos rodados con duna trasera baja (0-2m) en su totalidad. La vegetación es de arbustos bajos y plantas xerofíticas. Desde la carretera de los Taínos hasta Las Morlas se repite el paisaje de costas bajas con manglares bien conservados. De forma general se ha observado en los últimos años un incremento constructivo en esta área por lo que ha disminuido las zonas con vegetación costera de manera ostensible.

El tramo costero Cayo Siguapa - Punta Urría está formado por una superficie baja de 0-1m, acumulativa, pantanosa, cubierta por bosques de manglares de hasta cien metros de extensión, interrumpida por materiales de relleno rocosos-

carbonatados, sustituyendo los antiguos terrenos pantanosos. Este tramo presenta diversos grados de deterioro producto de la actividad antrópica como son las asociadas a la prospección y extracción de petróleo, construcción de terraplenes sobre manglares, entre otros, incrementando el deterioro de la fauna en este tramo costero.. En el tramo Punta Urria - Zona portuaria la costa se torna abrasiva-acumulativa con arenas finas, la vegetación de mangles aparece bien conservada desde el terraplén hasta la costa, esto se mantiene hasta los inicios del poblado costero de Playa Larga. En la zona portuaria que comprende fundamentalmente toda el área del espigón, existen acumulaciones de materiales producto de la actividad humana como material de relleno escombros y desechos que afectan el paisaje. Entre la zona portuaria y la Ensenada de la Niña se encuentran las costas en su forma natural formada por una llanura costera lacuno palustre acumulativa, cenagosa y de estero; al no recibir prácticamente aguas dulces y dado la baja profundidad es una zona con alto contenido de salinidad.

Las corrientes de marea presentan velocidades altas en el canal de Buba y algo menores en el canal de Paso Malo y en la franja que comunica con las aguas someras de las cayerías al este de la zona. Las corrientes de carácter periódico obedeciendo al flujo-reflujo facilitan que la marea predominante en esta zona sea de tipo mixta - semidiurna - irregular. La circulación ocurre en el interior y exterior de la bahía a través del canal de Buba y su continuación en el centro, así como por el canal de Paso Malo. Las velocidades medias fluctúan entre 20 y 40 cm/s para las zonas de intercambios y entre 5 y 15 cm/s en el interior de la bahía. (González, 1999)

Flora.

Se encuentra una franja arbórea bien definida como uvas caleta, matorral xeromorfo costero, patabán etc. En las zonas costeras y pantanosas predomina el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), y prieto (*Vicennia germinans*), además de otras especies como la llana, hicacos, pinipini, etc. (González, 1999)

Aves.

En Varadero, y en los cayos de la ensenada de Cárdenas y en sus costas abundan las comunidades de aves representadas por las siguientes especies: Gallinuela del manglar (*Rallus longirostris*), Pelícano o Alcatraz (*Pelecanus occidentalis*), Evilla o Garza (*Ajaia ajaja*), Rabihorcado (*Fregata magnificens*), Carpintero Verde (*Xiphidiopicus percussus*), Cabrero (*Spidalis Zena*), Garza Real (*Egretta thula*), Garza Azul (*Egretta Coerulea*), Garza Gris (*Ardea Cocoi*), Gracilote (*Ardea herodias repens*), Canario de manglar o Bijirita (*Dendroica petechia Gundlachi*), Martín Pescador (*Cerriles alción*), Coco blanco (*Eudocimus albus*), Coco prieto (*Plegadis Falcinelus*), Paloma Rabiche (*Zenaida macrorura*), Gavilán Caracolero (*Rosthramus sociabilio*), Judío (*Crotoplagani*), Yaguazin (*Dendrocigna bicolor*), Frailecillos Silbador (*Charadius melodus*), Mayito (*Argelaius humeralis*), Aura tiñosas (*Cattartes aura*), y otros. La mayoría de estas especies se han ido extinguiendo debido a la incesante persecución del hombre, en el caso de los rabihorcados, huyuyos y patos migratorios se encuentran casi exterminados. (Informe municipal CITMA, 2002)

Especies Marinas.

La bahía de Cárdenas a través de su historia ha sido fuente de grandes variedades de especies marinas. Entre las especies con escamas pueden citarse: Pargo, Caballerote, Biajaiba, Palometa, Pintada, Macabí, Guaguancho, Salmonete, Bajonao, Ronco, Machuelo, Sardinas, Rubias, Cabrilla, Cají, Jallao, Tiburón, Robalo, Mojarra, Barbero, Gallina, Vieja lora, Payaso, Cobo, Civil, Sábalo, Pez perro, Vaquita, Cochino, Cherna etc. Entre otras especies que se encuentran se tienen: ostras, esponjas, langosta, quelonios (Tortuga, Caguama, Carey), Cangrejos Moros, Camarones, etc. Actualmente la mayoría de las especies antes mencionadas han emigrado hacia otras aguas y muchas prácticamente no se capturan. (Informe municipal CITMA, 2002)

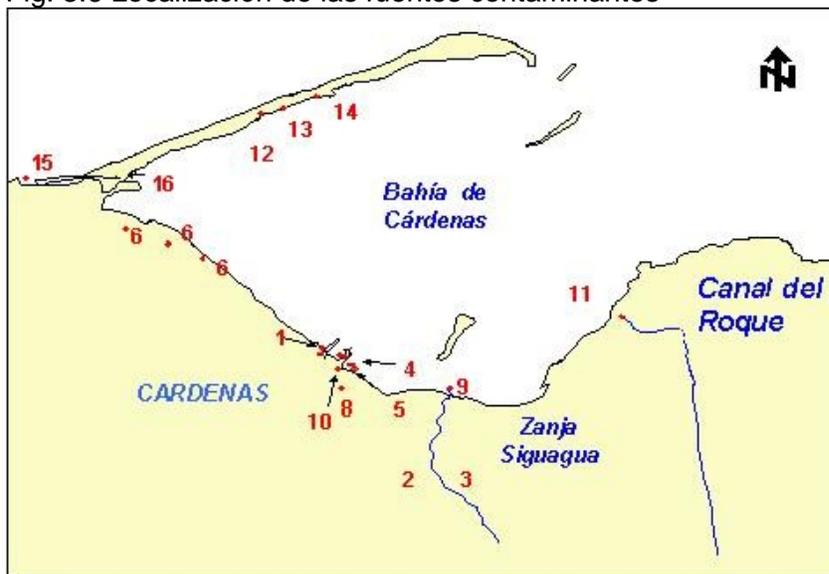
La bahía de Cárdenas ha sufrido durante años los efectos negativos de un manejo inadecuado, caracterizado por la transformación antrópica del paisaje, por el

vertimiento directo de los residuales sin tratamiento o con tratamiento deficiente de industrias contaminadoras ubicadas en el litoral o en áreas cercanas a él.

Todo esto ha conllevado a que la bahía presente signos de contaminación, aunque aún no críticos, de manera que en las zonas de los pedraplenes y del litoral de la ciudad de Cárdenas las variables hidroquímicas posean valores por encima de las normas establecidas para las aguas limpias, así como los indicadores de calidad sanitaria alcancen niveles por encima de los recomendados para las zonas de baño y para el desarrollo de actividades náuticas. (Informe del Cimab, 2001)

En la figura 3.6 se muestra la localización de las fuentes potencialmente contaminantes declaradas en el 2000 con excepción de la Fábrica de Torula por estar ubicada en el extremo costero más oriental de la Bahía de Cárdenas, que no aparece en el mapa.

Fig. 3.6 Localización de las fuentes contaminantes



Fuente: Informe del Cimab, 2001

Leyenda

- | | | | |
|---|-------------------------------------|----|------------------------------------|
| 1 | Corporación Cuba Ron | 9 | Zanja Siguagua |
| 2 | Productos Sanitarios S.A. | 10 | Combinado Lácteo de Cárdenas |
| 3 | CAI José Smith Comas | 11 | Canal de Roque |
| 4 | Procesadora de langostas | 12 | Planta de Tratamiento Taíno I |
| 5 | Batería de Cárdenas | 13 | Planta de Tratamiento Taíno II |
| 6 | Pozos de petróleo y Batería Central | 14 | Planta de Tratamiento Palmeras |
| 7 | Residuales de la ciudad de Cárdenas | 15 | Planta de Tratamiento Laguna Oasis |
| 8 | Reparto 13 de marzo | 16 | Planta de Tratamiento Siguapa |

A continuación se describen las características de cada una de estas fuentes:

1. Corporación Cuba Ron.

La Corporación Cuba Ron era considerada la principal fuente de contaminación a la Bahía de Cárdenas, vertía sus aguas residuales a través del estero de Playa Larga y un drenaje habilitado para este fin que desemboca en el puerto de Cárdenas. En la instalación se produce alcohol y ron. El mosto o vinaza, principal desecho contaminante, era vertido directamente a la Bahía de Cárdenas a través de una zanja a razón de $1\,200\text{ m}^3\cdot\text{día}^{-1}$, con un $\text{DBO} = 19034\text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ y un $\text{DQO} = 70390\text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$, que representa una carga másica anual de $\text{DBO} = 8337\text{ t}$ y un $\text{DQO} = 30831\text{ t}$ (Informe del Cimab, 2001). Las materias primas utilizadas por la empresa eran el azúcar crudo y refino, mieles finales, alcoholes, aguardiente, sirope, tierra de infusorios, carbón vegetal activado, ácido fosfórico, cal hidratada, urea técnica, aceites esenciales y colorantes.

Los desechos de la instalación estaban compuestos por los mostos, residuos de destilación de alcoholes, azúcar y sales minerales, forrajes y fango de levadura, aguas de extracción de las calderas, que contienen sales de magnesio, sales y desechos de productos químicos, aguas de lavado de los filtros de licor, que contienen carbón activado y tierra de infusorios, fondajes de cachaza, agua de lavado de botellas, aguas procedentes del laboratorio, aguas negras de baños y servicios sanitarios, aguas de los intercambiadores de calor de los tubos generadores eléctricos y aguas saladas.

Dada la problemática ambiental generada la empresa acometió un plan de inversiones de manera que desde el año 2001 dejó de verter el mosto residual del proceso de destilación.

2. Producto Sanitario (PROSA S.A.).

Entidad perteneciente al Ministerio de la Industria Básica (MINBAS), se encuentra ubicada en el municipio de Cárdenas en la carretera Cárdenas–Sagua. Dedicada hasta el año 1999 a la producción de libretas escolares, papel sanitario, y otros artículos, pasan a formar sociedad con una empresa canadiense dejándose de llamar Técnica Cubana, para llamarse empresa de Producciones Sanitarias

(PROSA S.A.), actualmente se encuentra dedicada a la producción de papel sanitario de marca SANITEC y LIRIO. El caudal de agua residual que generan es de 1827 m³/d. Entre los principales componentes de las aguas residuales se encuentra la celulosa y el carbonato de calcio, con una carga anual de DBO=9 t, (según datos de la entidad, 2003), las aguas residuales van a una zanja hasta el canal de Siguagua y posteriormente desembocan en la bahía de Cárdenas. Los desechos sólidos como: nailon, cartones, alambres, plásticos y otros son recogidos y arrojados en un vertedero. Poseen un sistema de tratamiento para residuales que cuenta con una celda de flotación para separar los sólidos y mediante otros procesos, obtener agua limpia para su posterior reutilización. Este sistema tiene una eficiencia entre 70% y 80%.

3. Complejo Agroindustrial (CAI) José Smith Comas.

Ubicado en el municipio Cárdenas y en el poblado que lleva su nombre, en el año 2002 esta instalación cesó sus producciones; la actividad fundamental que se realizaba en ella era la producción de azúcar crudo y derivados. Las aguas residuales generadas en la época de zafra contenían materia orgánica y otros contaminantes. Estos residuales eran vertidos sin tratamiento en la Zanja Siguagua que desemboca en la bahía de Cárdenas con una concentración de DBO = 3250 ml.l⁻¹ y de DQO = 6500 ml.l⁻¹ , representando una carga anual de DBO = 980 t y DQO = 1961 t (Informe del Cimab, 2001).

4. Procesadora de Langosta.

La industria procesadora de pescados y mariscos, complejo industrial Cárdenas perteneciente al Ministerio de la Industria Pesquera (MIP), se encuentra rodeada de mar en su porción norte y al sur limita con las calles Guernica y Concha, ciudad de Cárdenas. Entre las principales actividades productivas que se llevan a cabo en la industria, encontramos aquellas dedicadas a procesar pescados y langostas.

Procesos de Pescado: picadillo de pescado, picadillo de tenca, pescados enteros eviscerados y escamados congelados, pescados enteros eviscerados sin escamar, filete de pescado, filete de raya, minutas de pescado, filetes de tiburón,

hamburguesas de pescado, troncho de tenca y de claría, procesos de pescados al pedido.

Procesos de Langostas: Langosta entera cruda congelada, Langosta entera precocinada congelada, Cola de langosta cruda congelada, masa de cola de langosta congelada, masa de cabeza y pata.

Entre las principales fuentes de materia prima utilizada en el proceso productivo se encuentran: la langosta, los peces, hielo y meta bisulfito.

Las aguas generadas en el proceso productivo contienen una elevada carga orgánica de agua residual, fundamentalmente derivada de los procesos de cocción de langosta, limpieza de pescado y de la planta en general, incluyendo baños, comedor y embarcaciones. Estas aguas residuales llevan en su composición sustancias químicas como el metabisulfito, sal, cloro, y detergente. El caudal de agua aproximado utilizado es de $180 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, de ello se generan 150 m^3 de agua residual, la carga generada de $\text{DBO} = 30 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$, según información obtenida en el CITMA, 2003.

Es importante tener en cuenta que la industria presenta un registro de desagüe de residuales donde, a través de un sistema de alcantarillados, vierte en una fosa. En esta fosa existe un sistema de trampas donde se separan los residuales líquidos de los sólidos. Los sólidos son recogidos por comunales o vendidos para consumo animal. Los residuales líquidos eran enviados hacia una laguna natural ubicada en la zona pantanosa (laguna de oxidación del reparto 13 de Marzo), mediante una bomba de expulsión. Hace aproximadamente dos años la bomba de expulsión no funciona y los residuales líquidos son vertidos directamente al mar.

Los desechos sólidos como: basuras, cartones, papeles, sogas, nailon y otros, son recopilados y separados para su posterior recogida por parte de los compañeros de materia prima.

5. Batería Central de la EPEP-C y Batería de Cárdenas.

La Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro (EPEP-C) poseía dos baterías de petróleo donde se colectaba la mayor parte del hidrocarburo

manejado en la zona, la Batería Central y la Batería de Cárdenas. Los niveles de calidad del agua de capa y el agua de lastre tratados cumplían con las exigencias ambientales recogidas en la norma cubana NC 27-1999 para su vertimiento en la Bahía de Cárdenas. Desde el año 2001 la batería Cárdenas dejó de existir, al construirse un oleoducto capaz de transportar el petróleo que se extrae en esa zona, lográndose minimizar la probabilidad de la ocurrencia de un derrame accidental.

6. Complejo Agroindustrial (CAI) Esteban Hernández.

Pertenece al Ministerio del Azúcar (MINAZ) y ubicado en el municipio de Martí, cuenca Roque San Mateo.. Como renglón productivo fundamental se encuentra la producción de azúcar crudo, utilizando la caña de azúcar como materia prima. Entre sus principales desechos líquidos encontramos soluciones básicas de potasa y ácido clorhídrico utilizados en los procesos de limpieza, así como cachaza, grasas y otras sustancias sólidas derivada del proceso productivo. El caudal de agua residual orgánica que se genera es equivalente a $46000\text{m}^3/\text{d}$ (según datos del CAI, 2002), los niveles de carga generada correspondientes a los 82 días de zafra en toneladas por año equivalen a un, $\text{DQO} = 2452$ y $\text{DBO} = 1226$. Actualmente las aguas residuales no tienen tratamiento, llegando a través del canal de la Manuy a la Bahía de Santa Clara.

Cuentan con un sistema de tratamiento, consistente en lagunas de secado, las cuales no se encuentran en uso desde aproximadamente siete años. Estas lagunas se encuentran desfondadas debido a las malas condiciones que presentan debido, fundamentalmente, a la cantidad de sólidos que contienen, por lo que necesitan limpieza y reparaciones. Hasta el año 2000 estuvieron usando, para mitigar el efecto de las aguas residuales, un sistema de fertirriego el cual permitía reutilizar las aguas residuales en el riego de pequeñas áreas sembradas con caña de azúcar (50% de eficiencia), debido a roturas en las motobombas, dejó de funcionar este sistema.

7. Fábrica de Torula.

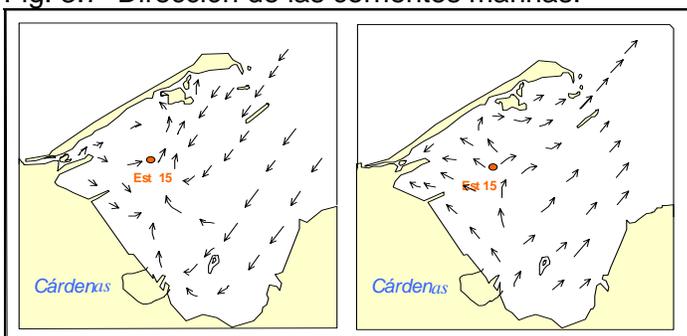
Ubicada en el CAI Esteban Hernández. cuenta entre sus principales renglones productivos con la levadura torula y la crema de torula, utilizando como materia

prima fundamental, miel fina, urea, sulfato de amonio y fosfato de amonio. Cuenta con un total de 95 trabajadores compartidos en tres turnos de trabajo.

Se emplean tres fermentadores, un caudal de agua aproximado de 6000 m³/d, generando aproximadamente 3967 m³.d⁻¹ de aguas residuales de tipo orgánicas, propias de la fabricación de la levadura torula, consistente en el mosto procedente del proceso de fermentación. Dentro de las principales características de las aguas residuales encontramos, nitrógeno residual de $\pm 300 \text{ mg.l}^{-1}$, fósforo residual 150mg.l⁻¹ y un DQO = 13500 mg.l⁻¹. Además, contiene ácidos orgánicos e inorgánicos y otras sustancias con concentraciones no determinadas. Las aguas residuales son vertidas a una zanja que se encuentra en sus dos primeros kilómetros rellena por hormigón, esta zanja se extiende a través de una distancia aproximada de 8 Km donde vierte sus residuos al canal de la Manuy que desemboca en la bahía de Santa Clara. No poseen ningún sistema de tratamiento para mitigar los efectos de las aguas residuales. Desde el año 2002 esta fábrica no produce.

El CAI Esteban Hernández, como la fábrica de Torula vierte sus residuales en el canal de la Manuy, el cual desemboca en la bahía de Santa Clara, a través de la boca de la Manuy, por lo que estos residuales siguen su curso en dirección noroeste de la mencionada bahía, que al coincidir con el flujo de marea, penetran hacia el interior de la bahía de Cárdenas, como muestra la siguiente figura:

Fig. 3.7 Dirección de las corrientes marinas.



Fuente: Mederos,1990

8. Combinado Lácteo.

Posee dos establecimientos donde se producen y comercializan productos lácteos como: quesos, yogurt natural y saborizados de leche y soya. Entre las materias primas que utilizan se encuentra la leche entera pasteurizada, leche descremada pulverizada, grasa láctea o vegetal, leche fresca, leche de soya, azúcar, sosa cáustica, ácido fosfórico y detergente. La industria consume $685 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ de agua. El aporte de materia orgánica, expresada como DBO, se estima en 64 t/año . (Cimab, 2001) Las aguas residuales generadas son de origen orgánico y son vertidas sin tratar a un pozo de infiltración.

9. Canal de Roque.

El Canal de Roque está localizado al fondo de la Bahía de Cárdenas y constituye la principal fuente de agua dulce a la bahía, al ser la vía natural para el escurrimiento superficial de esta zona, aunque por las características del suelo, así como por la ausencia de una cuenca hidrográfica definida, los fenómenos de escurrimiento superficial no son significativos, la concentración de $\text{DQO} = 96 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ con un caudal de $123706 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, representando una carga másica de $4334 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$. (Cimab, 2001)

10. Vertimiento de aguas residuales domésticos de la Ciudad de Cárdenas.

Del total de residuales domésticos generados en la ciudad de Cárdenas solo el 14,8% reciben tratamiento a través de lagunas de oxidación ubicadas en los repartos 13 de Marzo y Fructuoso Rodríguez, las cuales poseen un nivel de eficiencia de 30% y 75% respectivamente. El resto de la población vierte sus residuales en fosas de infiltración, que cuentan con una eficiencia de 50%.

- Reparto 13 de Marzo.

Las aguas residuales urbanas del Reparto 13 de Marzo son depuradas mediante un sistema de lagunas. Al sistema de lagunas llegan los residuales de aproximadamente 8000 habitantes. El efluente tratado se dispone en una zanja que desagua directamente en la Bahía de Cárdenas, se estima una carga de $\text{DBO} = 68 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$.

- Reparto Fructuoso Rodríguez.

Las aguas residuales urbanas del Reparto Fructuoso Rodríguez son depuradas mediante un sistema de lagunas al cual tributan los residuales de aproximadamente 3000 habitantes. El efluente tratado se dispone en un pozo de infiltración, con una carga estimada de $DBO = 10t.año^{-1}$.

- El resto de la ciudad.

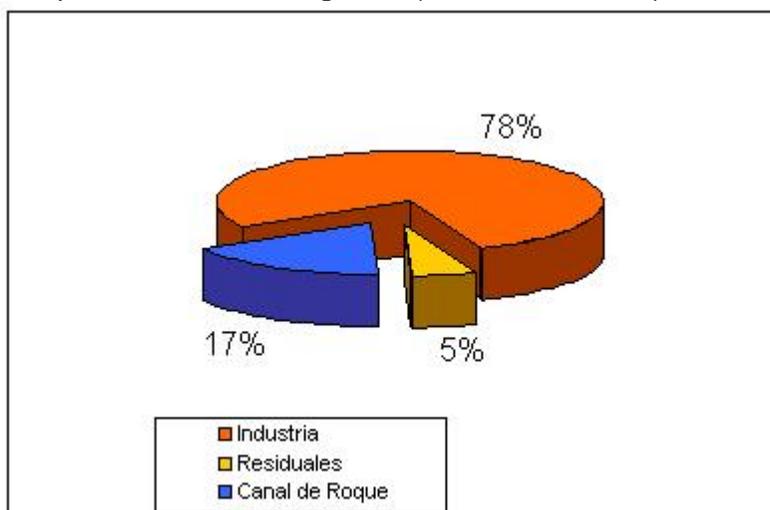
Las aguas residuales de aproximadamente 67105 habitantes son vertidas en pozos de infiltración. Considerando la eficiencia de estas fosas además de las características del terreno de la ciudad y la cercanía de esta a la bahía, hacen pensar que sus aguas reciban una considerable carga orgánica tanto por vertimientos directos, como por infiltración y desplazamiento a través del manto, estimada en $DBO = 1171 t.año^{-1}$.

11. Instalaciones de tratamiento de residuales en Varadero.

En Varadero existe un total de 5 plantas depuradoras urbanas que manejan las aguas residuales de la mayoría de las instalaciones hoteleras y parte de la población de la ciudad desde la Calle 13 hasta la Calle 36, las mismas poseen una elevada eficiencia en la reducción de materia orgánica por lo que el efluente de salida de las mismas no representa ninguna contaminación a la bahía.

En la figura 3.8 se muestra el aporte de materia orgánica expresada en toneladas al año de DBO a la bahía en el año 2000, vale destacar que se excluyó en la construcción del gráfico al CAI Esteban Hernández y a la fábrica de Torula, pues aunque se conoce que los residuales de estas entidades afectan la bahía, no existe ningún estudio que precise los niveles de incidencia. En el mismo se evidencia la incidencia significativa de los residuales industriales en las aguas de la bahía.

Fig. 3.8 Aportes de materia orgánica (t de DBO anuales) a la bahía



Posterior al año 2001 el panorama cambió, pues muchas de las industrias contaminadoras de la bahía fueron presionadas por las autoridades ambientales del territorio a tomar medidas con el objetivo de disminuir la carga contaminante a la que bahía estaba sometida, la cual ya mostraba signos de deterioro en la calidad de sus aguas. De manera que en la actualidad sólo se reconocen como contaminadoras:

- Industria procesadora de pescados y langostas.
- Productos Sanitarios (PROSA S.A.).
- Complejo Agroindustrial (CAI) Esteban Hernández.
- Canal de Roque.
- Combinado Lácteo.
- Aguas residuales domésticas de la ciudad.

El conocimiento brindado por el diagnóstico, realizado desde una perspectiva socioeconómica ambiental, constituye la base informativa para el desarrollo de la evaluación económica del efecto de la contaminación de la bahía. El mismo ha detectado las causas de la contaminación, así como los efectos de la misma.

3.2 Valoración económica del efecto de la contaminación.

Las presiones antrópicas a las que ha estado sometida la bahía de Cárdenas han disminuido sus potencialidades como proveedora de bienes y servicios ambientales. La contaminación es una de las mencionadas presiones, que han afectado los valores de este acuatorio. La valoración del efecto de esta contaminación se realizará midiendo las pérdidas de los bienes y servicios ocasionadas por ella.

3.2.1 Identificación de los bienes y servicios de la bahía.

Para la identificación de los bienes y servicios de la bahía se propone el trabajo con un panel de expertos, el cual fue conformado por especialistas de diferentes perfiles ocupacionales y profesionales: biólogos, médicos veterinarios, ingenieros químicos e industriales, economistas, trabajadores del puerto, de la pesca, del gobierno y de la Universidad de Matanzas. A los mismos se les aplicó la encuesta que aparece en el Anexo # 1 con el objetivo de medir su coeficiente de experticidad, los resultados aparecen en la siguiente tabla, donde puede apreciarse que los nueve expertos seleccionados cumplen el requisito de que su coeficiente de competencia (K) sea mayor que 0.85.

Tabla 3.2 Resultado de la aplicación de la encuesta para la selección de expertos.

| Exp coef. | E ₁ | E ₂ | E ₃ | E ₄ | E ₅ | E ₆ | E ₇ | E ₈ | E ₉ |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>K_c</i> | 1 | 1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1 | 1 | 0.9 | 0.9 |
| <i>K_a</i> | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1 | 0.9 | 1 | 0.8 |
| <i>K</i> | 0.95 | 0.95 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1 | 0.95 | 0.95 | 0.85 |

Este panel definió las funciones ecológicas de la bahía:

De regulación

- Almacenamiento y reciclaje de materia orgánica (receptora de contaminantes)
- Proporciona hábitat para la reproducción de especies migratorias
- Protección de la biodiversidad
- Reserva de las especies

De soporte

- Recreación y turismo (playa, pesca deportiva, turismo ecológico)
- Fuentes de empleo

De producción

- Alimento humano
- Combustible

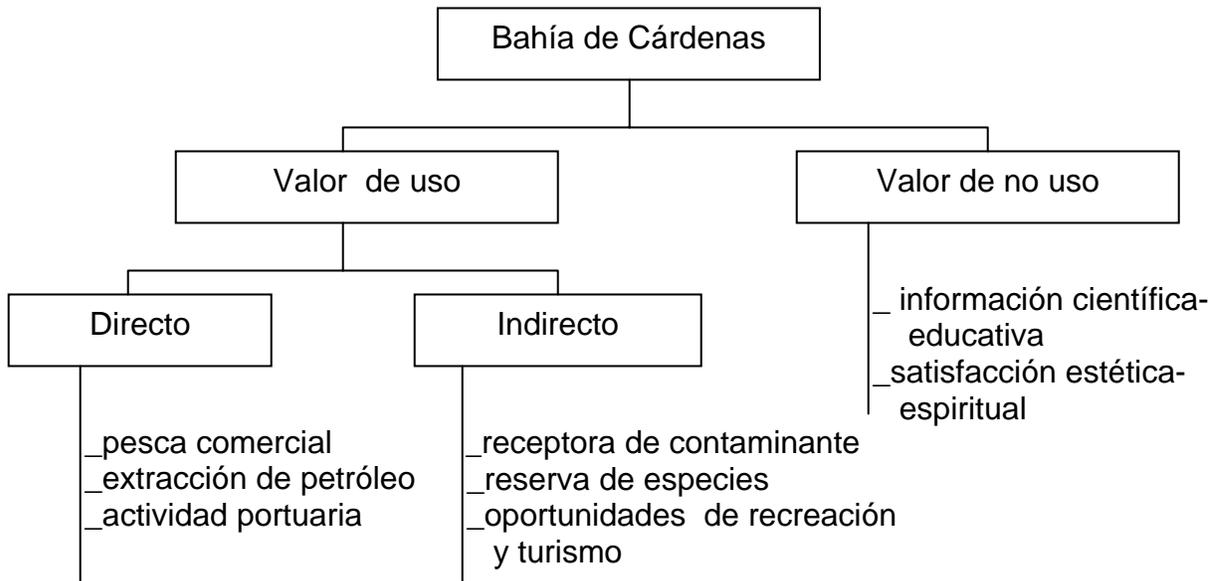
De información

- Estética espiritual
- Cultural

Considerando las funciones definidas y el tipo de valor generado por ellas (Figura 3.9) se definieron como:

- Bienes:
 - Pesca comercial
 - Extracción de petróleo
 - La actividad portuaria
- Servicios:
 - Almacenamiento y reciclaje de materia orgánica (receptora de contaminante)
 - Reserva de especies
 - Oportunidades de recreación: playa, pesca deportiva, actividades náuticas.
 - Conservación de la biodiversidad
 - Proveedora de información educativa, científica y estética espiritual

Fig 3.9 Esquema de valoración



3.2.2 Determinación de los bienes y servicios más afectados por la contaminación.

Para el análisis de qué bienes y servicios identificados en la bahía, son más sensibles al efecto de la contaminación debida al desarrollo de actividades socioeconómica en la zona, se aplicó a los expertos la siguiente encuesta:

Encuesta # 1:

La Bahía de Cárdenas se encuentra sometida a los efectos de la presencia de contaminantes aportados por el vertimiento de los residuales de las industrias del territorio y de la propia ciudad, esto provoca diferentes impactos en:

- *Nivel de Captura*
- *Extinción de especies marinas*
- *Actividad económica del puerto*
- *Playa*
- *Imagen del paisaje*
- *Actividades deportivas–recreativas*

Si a su consideración dejaron de mencionarse algunos otros impactos, adiciónelos, luego evalúe los impactos mencionados en una escala de 0 a 5, donde el 0 denota el de menor importancia hasta 5 que denotaría la importancia mayor.

Como resultado de la aplicación de la encuesta # 1, se obtuvo la siguiente matriz:

Tabla 3.3 Resultados de la aplicación de la encuesta.

| Criterios / Expertos | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Nivel de Captura | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Extinción de especies | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Actividad portuaria | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 2 |
| Playa | 0 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Imagen del paisaje | 2 | 3 | 1 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Actividades recreativas | 5 | 1 | 1 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 |

Luego de procesada esta matriz utilizando el método de ponderación de criterios Rating (Tabucanon,1988) se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 3.4 Resultados de la síntesis de la tabla 3.3

| Impactos | Peso |
|------------------------------|-------------|
| Nivel de Captura | 0.19 |
| Extinción de especies | 0.25 |
| Actividad portuaria | 0.06 |
| Playa | 0.18 |
| Imagen del paisaje | 0.17 |
| Actividades recreativas | 0.15 |

Nótese en la tabla anterior que los servicios de conservación de la biodiversidad y reserva de especies, reflejadas en la extinción de especies, son las que resultan más sensibles, luego aparece la pesca comercial, vista a través del nivel de captura, siguiéndole en ese orden, la playa, la imagen del paisaje y las actividades recreativas y por último la actividad portuaria.

3.2.3 Medición económica del efecto de la contaminación.

La valoración económica deberá contemplar todos los bienes y servicios definidos y que presentan una alta sensibilidad a la presencia de contaminación. Para efectuar la misma es necesario disponer de información amplia y precisa, como registros históricos de niveles de contaminación de la bahía, así como de cada una de las fuentes contaminadoras, caracterización de los ecosistemas de la bahía y sus interrelaciones, estadísticas históricas de indicadores económicos, entre otras.

En el momento que se desarrolla esta investigación no se dispone de esta información lo que condiciona una valoración económica parcial del efecto de la contaminación, limitándose a valorar la pesca comercial y la playa.

Esta valoración sesgada por la falta de información no es suficiente para la aplicación de un análisis costo-beneficio en la evaluación de alternativas, pero contribuye en la evaluación de la dimensión económica dentro del análisis multicriterio que se propone utilizar.

La selección de los métodos para efectuar la valoración se fundamenta en las características de los objetos a evaluar así como la información disponible, por lo que se propone utilizar:

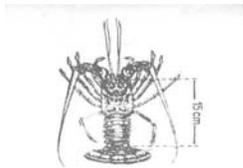
- Cambios en la producción
- Valoración contingente

El primero de estos métodos de valoración responde al enfoque de valoración objetiva, los cuales se basan en el conocimiento sobre las relaciones causas y efectos, referidos al nivel de actividades ofensivas que puedan causar daño. En este caso se conoce que la contaminación afecta negativamente las funciones de la bahía y se trata entonces, de medir esos efectos, estimando las pérdidas de ingreso por la disminución de los niveles de captura de especies de valor comercial.

El método de valoración contingente obtiene expresiones de valor, por parte de las personas entrevistadas, por aumentos o disminuciones específicas en la cantidad o calidad de un servicio ambiental, en este caso por el servicio recreativo ofertado por las playas de la bahía. Las estimaciones del valor económico obtenidas por este método son "contingentes" porque los valores estimados son derivados de una situación hipotética, que es presentada por los investigadores a los entrevistados.

3.2.4 Disminución de los niveles de captura.

Para la valoración de la pesca comercial, se tomó la captura de la langosta, por la importancia económica que esta especie tiene, pues es ampliamente demandada, así como la recolección del ostión, por constituir éste una especie en peligro de extinción en la zona.



Langosta común (Panulirus argus)

Es la única especie de langosta de importancia comercial en las pesquerías cubanas; el área de pesca tiene una distribución geográfica que abarca las cuatro grandes plataformas submarinas que rodean a Cuba.

Esta especie alcanza la madurez sexual entre los 3 o 4 años. Durante el período de reproducción las hembras maduras emigran hacia el borde de la plataforma, desovando a profundidades entre 4 y 15 metros, en condiciones favorables de temperatura, salinidad, etc. Al desovar, las hembras forman con las masas de huevecillos, un paquete aglutinado o esponja y una vez fecundados por el macho lo llevan adherido en su parte inferior hasta que termina la incubación. Las larvas resultantes de este proceso se dejan llevar por las corrientes.

Los juveniles crecen en aguas bajas, muchas veces entre la uña del mangle. Cuando son adultos emigran hacia aguas profundas y posteriormente se mueven hacia los cayos y la costa, para aparearse y desovar. Las langostas adultas son sedentarias y realizan movimientos erráticos, por lo que no se considera como un animal altamente migratorio, sus movimientos se deben fundamentalmente a la búsqueda de alimento y de condiciones apropiadas para el desove.

El movimiento más importante se produce durante los llamados “recalos”, en el otoño y principio de invierno, cuando grandes concentraciones de langostas formando filas de varios ejemplares, se desplazan a grandes distancias incluso durante las horas del día. La talla mínima legal de captura es de 15cm y la veda reproductiva en el territorio nacional es desde el mes de marzo hasta el mes de mayo. (Calendario de medidas para la protección de los recursos pesqueros marinos y de la acuicultura, 1989)

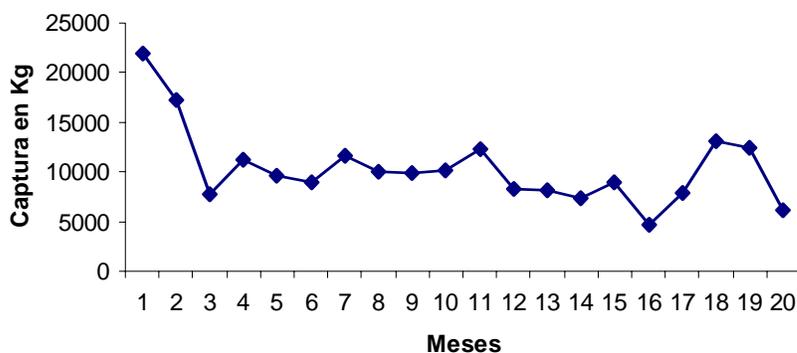
El combinado pesquero de Cárdenas, ubicado fundamentalmente en la costa norte de la provincia de Matanzas, está experimentando una dramática reducción en la población del crustáceo, que se evidencia en las capturas de los últimos años y aún más si se considera, que en ocasiones, el aumento de la población es provocado por condiciones climáticas extremas que producen recalos de otras zonas que enmascaran la realidad de la zona extractiva de Cárdenas.

Según datos suministrado por el combinado pesquero de Cárdenas, en la década de los años 60 las capturas promedios fueron de 271 toneladas, en la del 70 se mantuvieron en esa cifra, como promedio y en los años 80 ascendieron a 364 toneladas, fundamentalmente por el respeto a la ley de veda. En los años 90 descendieron bruscamente a 173 toneladas.

Estas producciones abarcan las capturas de la provincia en general, pero teniendo en cuenta que las producciones del combinado pesquero Cárdenas, representan más del 90% de las producciones de la provincia, a partir de estas cifras es posible tener una idea del comportamiento de las capturas en los últimos 40 años.

Con el objetivo de profundizar en el comportamiento de los niveles de captura de la langosta en la zona extractiva de Cárdenas, se tomó la información de la captura de los meses posteriores a la veda: junio – septiembre, en los años 1999 – 2002. Esta información graficada, se muestra a continuación:

Fig. 3.10 Captura en la zona extractiva



En el gráfico se puede apreciar una tendencia decreciente en los niveles de captura, para confirmarlo se realizó el ajuste a un modelo lineal, resultando la ecuación: $Y = -332,505 X + 13\ 889,35$ (3.1)

Donde: Y: Captura en kilogramos

X: Meses

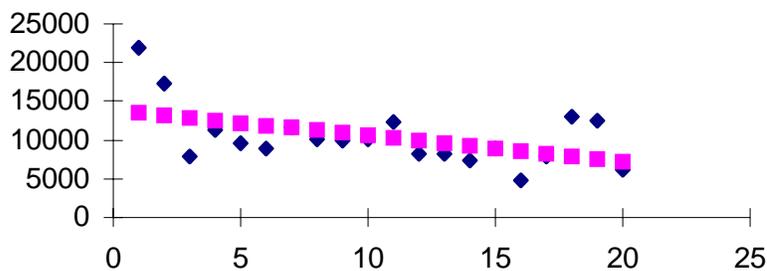
Para demostrar la existencia significativa de la relación lineal entre las variables, se realizó la d^ocima F para la pendiente:

$$H_0 : \beta_1 = 0 \quad H_1 : \beta_1 \neq 0$$

Donde β_1 es la pendiente de la ecuación: $Y = \beta_1 X + \beta_0$, obteniéndose:

$F = 6,26 > F_{0,95,1,18} = 4,41$, lo que implica el rechazo de H_0 , que equivale a la existencia significativa de la relación lineal entre X y Y. Como β_1 en la ecuación 3.1 es negativa eso significa que los niveles de captura en los meses posteriores al período de veda tienen una tendencia al decrecimiento. En la siguiente gráfica se muestra la curva ajustada:

Fig. 3.11 Curva de regresión ajustada



La disminución de los niveles de captura del preciado crustáceo tiene causas multifactoriales; con el objetivo de precisar algunos de los factores que la provocan se realizaron entrevistas al personal especializado en el combinado pesquero, pescadores y pobladores que viven en la zona costera. Como resultado de estas entrevistas se precisó que los principales problemas que ocasionan la disminución en los niveles de captura de la langosta son:

- Contaminación de las aguas en la zona.
- Pesca en tiempo de veda.
- Pesca con chinchorro.
- Pescadores furtivos.

Para determinar los niveles de incidencia de estos factores se aplicó a un total de 11 expertos la siguiente encuesta:

Encuesta # 2:

Como resultado de una investigación realizada se logró determinar que los principales problemas que están afectando los niveles de captura de la langosta son:

- *Contaminación de las aguas en la zona*
- *Pesca con chinchorro*
- *Pesca en tiempo de veda*
- *Pesca Furtiva*

Evalúe cada una de estas causas considerando su nivel de incidencia, utilizando la siguiente escala: Poca = 1, Moderada = 2, Alta = 3, Muy Alta = 4

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la aplicación de la encuesta a 11 expertos:

Tabla 3.5 Resultados de la segunda encuesta

| Factores \ Expertos | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 |
|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Contaminación de las aguas en la zona | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| Pesca con chinchorro | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Pesca en tiempo de veda | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| Pescadores furtivos | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 |

Luego de procesada esta información se obtuvo el siguiente resultado:

Contaminación de las aguas ----- 0,34
 Pesca con chinchorro ----- 0,14
Pesca en tiempo de veda ----- 0,35
 Pescadores furtivos ----- 0,17

Como puede apreciarse, el factor de mayor incidencia en el decrecimiento de los niveles de captura de la langosta es la violación del período de veda. De los registros de la empresa se pudo constatar, por ejemplo, que en el año 1997 sólo

se respetó este período, en el mes de mayo. En los años 1998 y 1999 se capturó langosta durante todos los meses, en el 2000 solo no se capturó en el mes de mayo y en el 2001 en los meses de abril y mayo, respetándose a tiempo completo en el año 2002.

Se ha comprobado que, cuando se respeta el tiempo de veda en más de 100 días, los resultados del levante son altamente ventajosos, requiriéndose de menor esfuerzo pesquero para lograr niveles de captura adecuados. Además de que el período de veda puede ser utilizado para reparar embarcaciones y artes de pesca, así como para preparar la zona de pesca y asegurar que el levante esté listo para una campaña eficiente.

La contaminación resultó el segundo factor de mayor incidencia, pues la misma provoca alteración en los parámetros físico químico del agua y los fondos lo que entorpece la reproducción del crustáceo, el cual es exigente en cuanto a niveles de temperatura, salinidad y turbidez de las aguas, además de destruir los refugios en los fondos por la acumulación de sedimentos. Todo esto atenta contra la posibilidad de obtener una población juvenil con la calidad requerida, para que puedan alcanzar un correcto nivel de desarrollo y un aumento considerable de la población.

La disminución de los niveles de captura de la langosta provoca afectaciones económicas, pues se deja de ingresar por concepto de venta de la langosta y sus derivados. A continuación se procederá a evaluar cuánto se ha dejado de ingresar en divisas debido a la disminución en los niveles de capturas en los últimos 5 años, se toma como base el plan histórico de 200 000 Kilogramos anuales. La información utilizada, en su mayoría, son valores promedios obtenidos de la información primaria del combinado pesquero Cárdenas.

Utilizando los registros de producción históricos de la empresa, se determinó que los productos fundamentales asociados a la langosta destinados a la venta son:

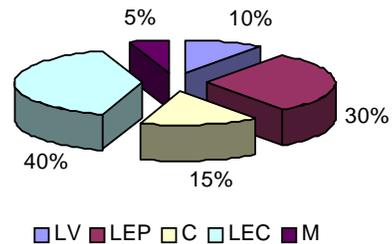
- Langosta Viva (LV)
- Langosta Entera Precocinada (LEP)

- Cola de Langosta (C)
- Langosta Entera Cruda (LEC)
- Masa (M)

Fueron calculados los porcentajes que representan cada uno del total de kilogramos de langosta capturada, se muestran a continuación:

Tabla 3.6 y Fig. 3.12 Proporción de cada producto en de captura

| Producto | % | Precio de venta el total (\$/Kg.) |
|----------|----|-----------------------------------|
| LV | 10 | 16.00 |
| LEP | 30 | 10.38 |
| C | 15 | 24.00 |
| LEC | 40 | 10.00 |
| M | 5 | 16.08 |



Fuente: Registros de la empresa

Se contrastaron las capturas de los años del 1998 al 2002 con el plan histórico de captura (200 000 Kg.), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3.7 Capturas de los años 98 – 02 y sus desviaciones respecto al plan

| Años | Captura (Kg./año) | Variaciones de la producción (Kg.) |
|--------------|-------------------|------------------------------------|
| 1998 | 149 404 | 50 596 |
| 1999 | 148 610.9 | 51 389.1 |
| 2000 | 131 385.4 | 68 614.6 |
| 2001 | 75 574 | 124 426 |
| 2002 | 87 743 | 112 257 |
| Total | 592 717.3 | 407 282.7 |

Fórmulas utilizadas para el cálculo de las:

- Pérdidas en Kg del producto j en un total de p años: P_j

$$P_j = (\%)_j \cdot VP_p, \quad j = LV, LEP, C, LEC, M$$

$$VP_p = \sum_{i=1}^p (PH - C_i)$$

donde:

p = total de años

VP_p = variación de la producción

PH = plan histórico

C_j = captura de año i

- Pérdidas en dólares del producto j en un total de p años: $P\$_j$

$$P\$_j = P_{v_j} \cdot P_j \quad \text{donde } P_{v_j} = \text{precio de venta del producto } j$$

Utilizando las expresiones anteriores y considerando que $PH = 200\ 000$, $p = 5$ y los porcentos y precios de la tabla 3.6 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.8 Pérdidas en Kg. y en \$ en los años 98 - 02

| Productos | Pérdidas en Kg. | Pérdidas en \$ |
|--------------|------------------|-------------------|
| <i>LV</i> | 40728.27 | 651652.32 |
| <i>LEP</i> | 122184.81 | 1268278.33 |
| <i>C</i> | 61092.41 | 1466217.72 |
| <i>LEC</i> | 162913.07 | 1629130.80 |
| <i>M</i> | 20364.14 | 327455.29 |
| Total | 407282.70 | 5342734.46 |

Como puede apreciarse, por concepto de ingresos por la venta de la langosta en sus diferentes variantes, se ha perdido en los últimos cinco años, aproximadamente 5,3 millones de dólares, debido a la disminución de las capturas que pudo estimarse en 407 302,7 Kg.

Para estimar el monto de estas pérdidas por concepto de la contaminación, se requiere de una expresión matemática que relacione las captura con los niveles de contaminación expresado a través de algún parámetro físico – químico de sus aguas. La no disponibilidad de información referida a las series históricas de la calidad del agua de la bahía, imposibilitan la estimación de dicha función, por lo que se asume el resultado del trabajo con los expertos en la determinación del grado de incidencia de la contaminación en la captura, que resultó del 34%, lo que significa 1.8 millones de dólares (34% de 5,3 millones).



Ostión de mangle (*Crassostrea rhizophorae*)

Esta especie produce un incalculable número de huevezuelos que la hembra expulsa directamente en el agua, dando a ésta una apariencia lechosa. La esperma de los machos descargada igualmente en el agua los fecunda en ese momento. Los primeros períodos de vida del ostión son flotantes y libres, hasta que en corto tiempo se fijan y comienzan su existencia sedentaria. Sus poblaciones se localizan

en casi todas las desembocaduras de los ríos y esteros con manglares limpios o en zonas de la cayería cercanas a las descargas fluviales. Crecen formando agregados en forma de piña, adheridos a las raíces aéreas del mangle que le sirven de soporte o sostén.

Más que una pesquería, en el caso de esta especie, lo que se practica es una recolección, pues el recurso se obtiene desprendiendo las conchas de las raíces a las que están adheridas. Su uso como alimento data de la época precolombina, siendo en la actualidad muy demandado dado su alto valor nutritivo. El tiempo de veda reproductiva en la costa norte de la provincia de Matanzas oscila entre los meses de febrero y abril, su talla mínima legal de captura es de 4cm. (Calendario de medidas para la protección de los recursos pesqueros marinos y de la acuicultura, 1989)

Según pescadores y especialistas del Combinado Pesquero Cárdenas, la disminución del ostión ha sido significativa, encontrándose casi extinguido en zonas del litoral de la ciudad y en peligro de desaparecer en el resto del área. Hay muchos factores que han impactado negativamente las poblaciones de ostión, entre los que se encuentran, la violación de los períodos de veda reproductiva, la pérdida del mangle (Fig. 3.13) de la costa, debido a la influencia de la contaminación, la tala indiscriminada del hombre y la construcción de pedraplenes en la zona, los cuales han obstaculizado la libre circulación de las corrientes marinas.

Fig. 3.13 Pérdida de mangle



Con el objetivo de estimar el peso de cada una de las causas de la disminución de la población del ostión en la zona, se realizó la siguiente encuesta a 11 trabajadores del Combinado Pesquero:

Encuesta # 3:

Evalúe utilizando la siguiente escala: Poca = 1, Moderada = 2, Alta = 3, Muy Alta = 4 el nivel de incidencia de las causas que han disminuido la población de ostión en la bahía de Cárdenas:

Causas de disminución:

___ *Pérdida de Mangle*

___ *Pesca en tiempo de veda*

El resultado de la aplicación de la encuesta # 3 se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 3. 9 Resultados de la encuesta # 3

| Causas \ Expertos | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Pérdida del mangle | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Recolección en tiempo de veda | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 |

Del procesamiento de esta información se obtiene que:

Pérdida del mangle ----- 0.52

Recolección en tiempo de veda ----- 0.48

Como las causas de la pérdida del mangle es multifactorial:

- Tala indiscriminada.
- Construcción de pedraplenes.
- La contaminación.

De nuevo se hizo la consulta a expertos con un procedimiento similar al hecho anteriormente obteniéndose el siguiente resultado:

Tala indiscriminada ----- 0.35

Construcción de pedraplenes ----- 0.35

La contaminación ----- 0.30

De todo lo anterior puede inferirse que la contaminación de la bahía tiene una incidencia de aproximadamente el 16 % ($0.30 * 0.52$) en la disminución de la población del ostión en la zona.

Valorar el ostión desde el punto de vista de la pérdida de biodiversidad es altamente complejo, dado por los valores de no uso que posee, además del valor de uso indirecto que una especie tiene dentro de un ecosistema, condicionado por la contribución a su estabilidad y equilibrio. El presente estudio es limitado, al considerar solamente el valor comercial del ostión (valor de uso directo) para determinar el valor de la pérdida de esta especie, no obstante, es el único posible dado el nivel de información con que se cuenta.

Aplicando el método de valoración económica cambios en la productividad se pretende cuantificar monetariamente lo que se ha dejado de recibir debido a la variación de los niveles de producción en la zona norte de Cárdenas, relacionada con la recolección de ostión. Los datos con los que se cuenta para realizar el correspondiente análisis, son cifras estimadas del Combinado Pesquero Cárdenas.

A pesar de que la recolección de ostión comenzó a disminuir en la década de los 90, todavía hasta el año 1995 se recolectaba como promedio 2 000 000 Kg al año, equivalente a 100 000 Kg de masa. A partir del año 1996 la recolección del ostión disminuyó a 20 000 Kg, representando un total de 1000 Kg de masa a proceso, ya en los años 2001-2002 no se recolectó nada, finalizando en este tiempo la recolección y producción de ostión por parte del Combinado Pesquero Cárdenas. Se conoce que el kilogramo de masa se vende en el mercado a 9 USD, por lo que en los años 1991-1995 la industria ingresó un estimado anual de 900 miles de USD, lo que representa un total de 4,5 millones de USD, en esos cinco años. Al comparar estos ingresos con los obtenidos en el período 1996 - 2000 se observa que hubo una disminución del 99%, equivalente a 9 Miles de USD al año para un estimado de 45 Miles de USD.

A modo de conclusión se estima que desde los años 1996 hasta el 2000, se dejó de ingresar un monto de 4,4 Millones de USD. Si a esta cifra se le suma las

pérdidas ocasionadas debido a la no recolección desde el año 2001 al 2002, el total de ingreso dejado de percibir asciende a un estimado de 6,3 Millones de USD. Considerando el nivel de incidencia de la contaminación en la disminución de la población del ostión (16%) puede afirmarse que debido a la contaminación las pérdidas por la disminución de la recolección del ostión en los últimos cinco años son de aproximadamente 1 Millón de USD.

3.2.5 Afectaciones de la playa y de las actividades recreativas.

La zona costera es un sitio propicio para realizar diversas actividades recreativas como son: pesca, remo, vela, baño de mar, etc. , por lo que la población le concede gran valor al brindar el espacio para desarrollar estos servicios. Desde el punto de vista económico, estos servicios tienen dos características fundamentales, la primera, que el valor económico de estos servicios depende de las condiciones de la zona costera, y la segunda, que el acceso es abierto a todos los vacacionistas.

Estas características condicionan la demanda de los servicios recreativos relacionados con la playa. O sea, la playa con sus atractivos naturales es apreciada por la población, quien disfruta de ellos; si estos atractivos naturales se ven afectados por agentes agresivos que deprimen su calidad, se producirá una disminución en la demanda de los servicios asociados a ellos.

El hecho de que el acceso sea abierto a todos los vacacionistas convierte a toda la población en clientes potenciales de los servicios que se brinden, además que posibilita el disfrute de los atractivos naturales del lugar sin pago alguno.

La contaminación de las aguas costeras es uno de los problemas ambientales que afectan la calidad de la playa, un ejemplo de ello lo es Playa Larga, ubicada en el litoral de la ciudad de Cárdenas. Ella ha sido, a través de los años, el balneario preferido de muchos habitantes de la ciudad, fundamentalmente de los que viven en las zonas más cercanas a la playa. Es tradición del lugar que personas de todas las edades pesquen durante todo año en el litoral de esta zona.

Sin embargo, en los últimos veinte años estas actividades han ido disminuyendo su nivel de preferencia entre la población, debido al deterioro que muestra la playa

como consecuencia de los altos niveles de contaminación que presentaban sus aguas, provocada por el vertimiento de residuos industriales durante muchos años en la bahía, sobre todo de la corporación Cuba Ron (antigua Arrechavala) ubicada muy cerca de la playa, que vertía sus aguas residuales a través del estero de Playa Larga y un drenaje habilitado para este fin que desemboca en el puerto de Cárdenas. Como ya se mencionó, esta industria desde el año 2001 dejó de verter sus residuales en la bahía lo que ha propiciado una notable mejoría en la calidad del agua de la playa.

La apreciable mejoría de la calidad del agua de la playa posibilita el rescate de las tradiciones recreativas para el disfrute de la población de la ciudad y el municipio, así como la oportunidad de poder brindar una imagen del paisaje de la zona completamente diferente, que permita explotar el potencial natural con que cuenta este espacio natural.

Con el objetivo de estimar el posicionamiento de las actividades recreativas relacionadas con la playa en las preferencias de esparcimiento de los cardenenses, además de conocer cuánto los ciudadanos estarían dispuestos a pagar para poder disfrutar de las opciones recreativas que ofrece la playa de su localidad y con ello inferir el valor que el cardenense medio le concede a la misma, se realizó una investigación, cuyo diseño y resultados se muestran a continuación.

Diseño.

Para la realización del estudio se utilizó el cuestionario como instrumento para recolección de datos. El mismo se estructuró en tres bloques:

- Un primer bloque de preguntas dirigidas a caracterizar la demanda de las actividades de sol y playa en el lugar.
- Un segundo bloque encaminado a la valoración del recurso playa.
- Un bloque final de preguntas dirigidas a averiguar las características socioeconómicas de las personas entrevistadas.

A continuación se precisan los elementos estimados en cada pregunta del cuestionario, el mismo aparece en el Anexo # 2.

Pregunta 1. El lugar que ocupa en las preferencias de los cardenenses las actividades relacionadas con la playa en la utilización del tiempo libre.

Pregunta 2. Evaluar la importancia que el consumidor del recurso playa, el cual es ofertado a través de las actividades recreativas desarrolladas en ella, concede a la calidad del agua y por tanto medir indirectamente la afectación de la demanda potencial de las actividades de sol y playa provocada por la contaminación.

Pregunta 3. El vector de preferencia, que puede traducirse en un vector de peso, de las diferentes actividades recreativas vinculadas con la playa.

Pregunta 4. La cantidad de dinero que estaría dispuesto a pagar los cardenenses para recuperar las playas de la ciudad. Este pago se pedía en moneda nacional y que se hiciera mensualmente, precisando el tiempo en que se mantuviera.

Pregunta 5. Esta pregunta era solo válida para las personas que respondieran con cero la pregunta anterior. La misma fue formulada con el propósito de determinar la razón de su negativa al pago, permitiendo determinar cuáles de las respuestas nulas reflejan una valoración cero del recurso.

Preguntas 6 – 10. Estas preguntas son las que caracterizan a los entrevistados, de manera que con esas características sea posible explicar las variaciones en la valoración revelada en la pregunta 4.

Se consideró como ámbito de estudio , la ciudad de Cárdenas con sus respectivos consejos populares. De manera que la población relevante quedó definida por los residentes de la ciudad mayores de 18 años de edad. En el año 2003 el área de estudio abarcaba una población adulta de alrededor de 58110 personas.

Para determinar el número de encuestas a aplicar, o sea el tamaño de la muestra, considerando las primeras 4 preguntas se utilizó la expresión : (Hernández,1998)

$$n = \frac{N * K_{\alpha}^2 * P * Q}{e^2(N - 1) + K_{\alpha}^2 * P * Q} \quad (3.2)$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra

N : Tamaño de la población en estudio

K_{α} : Percentil para la distribución normal para un nivel de confianza α

α : Nivel de confianza

P y Q : Parámetros de distribución binomial. Consideramos P como la probabilidad de ocurrencia y Q como su complemento

e : Error muestral

En el caso en estudio, se toma:

$$N = 58110$$

$$\alpha = 0.98$$

$$K_{\alpha} = 2$$

$$P = Q = 0,5$$

$$e = 5\%$$

Sustituyendo estos valores en la expresión 3.2 obtenemos:

$$n = 400.75$$

Decidiéndose tomar como tamaño de muestra 400, o sea deben realizarse 400 entrevistas. Buscando representatividad de los consejos populares de la ciudad en la muestra, las 400 encuestas se distribuyeron para su aplicación considerando el por ciento de la población de la ciudad que reside en cada consejo. En la siguiente tabla aparece el número de encuestas a realizar por consejo popular:

| Consejos Populares | Cantidad habitantes | % del total | # de entrevistas |
|--------------------------|---------------------|-------------|------------------|
| Marina | 14 513 | 0.1858 | 74 |
| Fundición | 8 362 | 0.1072 | 43 |
| Versalles | 16 072 | 0.2057 | 82 |
| Pueblo Nuevo Sur | 11 259 | 0.1441 | 58 |
| Pueblo Nuevo Norte | 16 778 | 0.2148 | 86 |
| Fruc. Rod. y 13 de Marzo | 11 121 | 0.1424 | 57 |
| Total | 78 105 | 100 | 400 |

Resultados por pregunta

Pregunta 1. Para el análisis de esta pregunta se calcula la frecuencia absoluta y relativa de cada uno de los niveles de importancia de las actividades de sol y playa en la utilización del tiempo libre, esas frecuencias son mostradas en la siguiente tabla:

| Niveles de importancia | Frecuencia absoluta | Frecuencia relativa | Importancia | Frecuencia absoluta | Frecuencia relativa |
|------------------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|
| Valiosa | 146 | 0.365 | Si | 390 | 0.975 |
| Muy importante | 180 | 0.45 | | | |
| Importante | 64 | 0.16 | | | |
| Poco Importante | 8 | 0.02 | No | 10 | 0.025 |
| No Importante | 2 | 0.005 | | | |
| Total | 400 | 1 | | 400 | 1 |

Como puede apreciarse, la mayor cantidad de personas de las entrevistadas consideran las actividades de sol playa muy importante en la utilización de su tiempo libre (45%) y en caso de que sean agrupadas en dos categorías: importante, sin distinguir su intensidad, y no importante (las dos últimas columnas de la tabla anterior), puede apreciarse que el 97,5% de las personas entrevistadas consideran importantes estas actividades.

Pregunta 2. La síntesis de esta pregunta también se realiza a través de un análisis frecuencial de las posibles respuestas, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

| Niveles de importancia | Frecuencia absoluta | Frecuencia relativa |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Valiosa | 266 | 0.665 |
| Muy importante | 113 | 0.2825 |
| Importante | 20 | 0.05 |
| Poco Importante | 0 | 0.00 |
| No Importante | 1 | 0.0025 |
| Total | 400 | 1 |

Como puede apreciarse el 99.75% de los encuestados reconoce la importancia extrema de la calidad del agua de la playa para el desarrollo de las actividades recreativas relacionadas con ella, lo cual informa de cómo casi el 100% valora la calidad ambiental y por tanto la demanda de los servicios que dependan de ella es sensible a sus afectaciones.

Pregunta 3. Para la determinación del vector de preferencia, se aplicaron las siguientes expresiones:

$$P_i = [P_{ij}] = \frac{V_{ij}}{\sum_{j=1}^4 V_{ij}}, i = \overline{1,400}$$

donde:

P_i : vector de preferencia del i-ésimo encuestado

V_{ij} : evaluación del encuestado i de la actividad j

$$[P]_j = \frac{\overline{P}_j}{400}, \overline{P}_j = \sum_{i=1}^{400} [P_{ij}]$$

$[P]_j$: Vector de preferencia

$$[P]_j = [0.39, 0.17, 0.22, 0.22]$$

Como puede apreciarse la actividad preferida por la población cardenense es el baño de mar continuándole la pesca y el alquiler de botes y por último tomar el sol.

Pregunta 4. En esta pregunta el interés está en estimar la disponibilidad de pago de los ciudadanos, para ello se multiplicó la cantidad declarada mensualmente por el tiempo durante el cual contribuirá. Sin embargo en un número de encuestas muchos entrevistados declararon una disponibilidad de pago igual a cero, lo cual puede hacer pensar en que los mismos no le reconocen valor alguno a la playa, lo cual no es del todo cierto, solo que muchos manifiestan de esa manera rechazo al planteamiento. Esto es lo que se denomina una respuesta de protesta (Azqueta,1994) lo que hace necesario precisar las causas de tal negativa, de

manera que sean eliminadas aquellas que son consecuencia de la inconformidad con el planteamiento.

Análisis de las encuestas rechazadas.

El hecho de que los entrevistados en la pregunta referida a la disposición de pago respondan con un cero, obliga generalmente a retirar su entrevista de la muestra, sin embargo la información aportada por las respuestas al resto de las preguntas puede ser útil, a continuación se hace un análisis de las encuestas rechazadas.

Del total de las encuestas aplicadas, 400, el 47.2%, 189, fueron desechadas. La frecuencia por cada una de las razones se muestra en la siguiente tabla:

| | Desinterés | Económicas | Resp. del gobierno | Otras | Total |
|---------------------|------------|------------|--------------------|-------|-------|
| Frecuencia absoluta | 4 | 27 | 146 | 12 | 189 |
| Frecuencia relativa | 0.02 | 0.14 | 0.78 | 0.06 | 1 |

Como puede apreciarse solo el 0.02% de las preguntas respondidas con cero reflejan un reconocimiento nulo al valor de la playa, el 0.98% restante sus causas son dadas por la inconformidad al planteamiento en la encuesta , por lo que las 189 se retiran de la muestra a utilizar en la estimación de la disponibilidad de pago.

Con el interés de conocer si algunas de las variables evaluadas a través de la encuesta tienen relación con la acción del rechazo, se aplicará, siempre que se cumplan los supuestos que lo permitan, un análisis de tabla de contingencia, el cual permite determinar si dos factores están relacionados.

El análisis de tabla de contingencia es una aplicación de la prueba χ^2 , en este caso la hipótesis a probar es:

H₀: dos factores o características son estadísticamente independientes

Si esta hipótesis es rechazada significará que los factores son dependientes y se dirá entonces que existe una interacción entre los criterios de clasificación representados por ellos. (Ostle, 1974)

La información se organiza en una tabla de doble entrada donde sus elementos representan las frecuencias correspondientes a las dos clasificaciones definidas en la muestra.

El estadígrafo utilizado para esta d'cima está dado por la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (3.3)$$

donde:

O_{ij} = frecuencia observada en la celda ij

$E_{ij} = \frac{R_i C_j}{n}$ = frecuencia esperada en la celda ij

$R_i = \sum_{j=1}^c O_{ij}$ = frecuencia observada en la i -ésima fila

$C_j = \sum_{i=1}^r O_{ij}$ = frecuencia observada en la j -ésima columna

r = total de niveles de la característica representada en las filas

c = total de niveles de la característica representada en las columnas

n = tamaño de la muestra

La región crítica o de rechazo de la hipótesis nula se define por:

$$\chi^2 \geq \chi_{(1-\alpha)[(r-1)(c-1)]}^2 \quad (3.4)$$

Los supuestos de aplicación de esta d'cima son dados para garantizar que la distribución del estadígrafo definido en 3.3 se aproxime a la distribución χ^2 . Esa aproximación es satisfactoria cuando todas las frecuencias esperadas (E_{ij}) sean iguales o mayores que 5.

- Número de rechazos Vs. Lugar de residencia del entrevistado.

H_0 : el rechazo no depende del lugar de residencia

Tabla de Frecuencia

| | Fundición | Marina | 13 Marzo | PNN | PNS | Versalles | Total |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| No Rechazos | 24 (23) | 39 (39) | 30 (30) | 45 (42) | 30 (31) | 43 (43) | 211 |
| Rechazos | 19 (20) | 35 (34) | 27 (27) | 41 (41) | 28 (27) | 39 (38) | 189 |
| Total | 43 | 74 | 57 | 86 | 58 | 82 | 400 |

En cada celda aparecen la frecuencia observada y la frecuencia esperada, entre paréntesis, esta última confirma la posibilidad de aplicación de la dócima. En la siguiente tabla se muestra el valor del estadígrafo, así como sus grados de libertad:

Contingency Tables

Chi-Square Test

| Chi-Square | Df | P-Value |
|------------|----|---------|
| 0.20 | 5 | 0.9992 |

$\chi^2_{0.95,5} = 11.07 > \chi^2 = 0.20$, por tanto no se rechaza H_0 , lo que significa que el lugar de residencia del entrevistado no incide en que una encuesta sea rechazada.

- Número de rechazos Vs. Sexo del entrevistado.

H_0 : el rechazo no depende del sexo

Tabla de Frecuencia

| | Femenino | Masculino | Total |
|-------------|--------------|--------------|-------|
| No Rechazos | 109 (108) | 102 (102) | 211 |
| Rechazos | 97 (97) | 92 (91) | 189 |
| Total | 206 | 194 | 400 |

Contingency Tables

Chi-Square Test

| Chi-Square | Df | P-Value |
|------------|----|---------------------------------|
| 0.00 | 1 | 0.9465 |
| 0.00 | 1 | 1.0000 (with Yates' correction) |

$\chi^2_{0.95,1} = 3.84 > \chi^2 = 0$, por tanto no se rechaza H_0 , lo que significa que el sexo del entrevistado no incide en que una encuesta sea rechazada.

- Número de rechazos Vs. Edad del entrevistado.

H_0 : el rechazo no depende de la edad

Dado que la variable edad es continua, para poder aplicar la tabla de contingencia es necesario discretizarla, por lo que se definieron tres niveles para la misma: 18 – 34, 35 – 59 y más de 60 años.

Tabla de Frecuencia

| | 18-34 | 35-59 | +60 | Total |
|-------------|------------|--------------|------------|-------|
| No rechazos | 83 (83) | 107 (108) | 21 (20) | 211 |
| Rechazos | 75 (74) | 97 (96) | 17 (8) | 189 |
| Total | 158 | 204 | 38 | 400 |

Contingency Tables

Chi-Square Test

| Chi-Square | Df | P-Value |
|------------|----|---------|
| 0.11 | 2 | 0.9481 |

$\chi^2_{0.95,2} = 5.99 > \chi^2 = 0$, por tanto no se rechaza H_0 , lo que significa que la edad del entrevistado no incide en que una encuesta sea rechazada.

Para la estimación de la voluntad de pago se utilizarán las 211 encuestas declaradas como válidas. Para ello se emplearán técnicas multivariantes, específicamente la regresión múltiple. Este método resulta adecuado cuando el problema de investigación incluye una única variable métrica dependiente que se supone este relacionada con una o más variables independientes. El objetivo del análisis de regresión es estimar los cambios en la variable dependiente en respuesta a cambios en las variables independientes.

En el diseño del análisis de regresión es muy importante la consideración del tamaño de muestra adecuado. En el presente problema se tiene la muestra fijada

en 211, como resultado de las encuestas válidas aplicadas, a continuación se analizará si con ese número es suficiente para garantizar la confiabilidad requerida.

Para este análisis se definen siete variables cuyas características se describen a continuación:

| Notación | Descripción | Tipo | |
|----------|---|-----------|---------------|
| DAP | Disponibilidad de pago | numérica | dependiente |
| Implaya | Nivel de importancia de la playa en la recreación | categoría | independiente |
| Edad | Edad del encuestado | numérica | independiente |
| Sexo | Sexo del encuestado | categoría | independiente |
| Estudio | Nivel de estudios del encuestado | categoría | independiente |
| Ingreso | Nivel de ingreso del encuestado | numérica | independiente |

La primera cuestión a responder en relación con el tamaño muestral es el nivel de relación (R^2) que puede ser razonablemente detectado con el análisis de regresión planteado, para ello se utilizó la tabla que aparece en (Hair y otros,1999) en la cual se reconoce un tamaño de 100 observaciones y seis variables independientes, capaz de detectar relaciones con valores de R^2 aproximadamente un 30% para una potencia de 0.80 y un nivel de significación de 0.01. Según el mismo autor, para garantizar la generalización de los resultados es necesario que se garantice un ratio de 20 observaciones por variable, lo cual se logra con 140 observaciones. Por lo anteriormente expuesto la muestra de 211 observaciones cumple los requisitos para ser aceptada.

Para realizar el ajuste a la regresión se empleó el paquete estadístico Statgraphics, la opción regresión avanzada, el modelo general, el cual es capaz de incluir variables de tipo numérico y categóricas. El análisis inicial consideró todas las variables y posteriormente fueron eliminándose aquellas que no resultaban estadísticamente significativas.

General Linear Models

Number of dependent variables: 1
 Number of categorical factors: 4
 Number of quantitative factors: 2

Analysis of Variance for DAP

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| Model | 379369,0 | 13 | 29182,3 | 17,72 | 0,0000 |
| Residual | 324466,0 | 197 | 1647,04 | | |
| Total (Corr.) | 703836,0 | 210 | | | |

Como puede apreciarse por el valor del estadígrafo F puede afirmarse que existe una relación significativa entre la variable DAP y las variables predictoras. Con el objetivo de precisar si todas las variables son necesarias, se realiza la prueba parcial F cuyo resultado aparece en la siguiente tabla:

Sums of Squares

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|-------------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| estudio | 3839,0 | 2 | 1919,5 | 1,17 | 0,3139 |
| implaya | 4321,47 | 3 | 1440,49 | 0,87 | 0,4552 |
| residencia | 15742,3 | 5 | 3148,45 | 1,91 | 0,0940 |
| sexo | 2770,41 | 1 | 2770,41 | 1,68 | 0,1962 |
| edad | 571,002 | 1 | 571,002 | 0,35 | 0,5567 |
| ingreso | 216033,0 | 1 | 216033,0 | 131,16 | 0,0000 |
| Residual | 324466,0 | 197 | 1647,04 | | |
| Total (corrected) | 703836,0 | 210 | | | |

En la tabla anterior puede apreciarse que la variable edad no es estadísticamente significativa, por lo que puede ser excluida del modelo. A continuación se realiza el ajuste sin la variable edad, los resultados del mismo se muestran a continuación:

General Linear Models

Number of dependent variables: 1
 Number of categorical factors: 4
 Number of quantitative factors: 1

Analysis of Variance for DAP

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| Model | 378798,0 | 12 | 31566,5 | 19,23 | 0,0000 |
| Residual | 325037,0 | 198 | 1641,6 | | |
| Total (Corr.) | 703836,0 | 210 | | | |

Sums of Squares

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|-------------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| estudio | 3692,84 | 2 | 1846,42 | 1,12 | 0,3268 |
| implaya | 4309,68 | 3 | 1436,56 | 0,88 | 0,4549 |
| residencia | 16492,6 | 5 | 3298,52 | 2,01 | 0,0789 |
| sexo | 3190,91 | 1 | 3190,91 | 1,94 | 0,1648 |
| ingreso | 216831,0 | 1 | 216831,0 | 132,09 | 0,0000 |
| Residual | 325037,0 | 198 | 1641,6 | | |
| Total (corrected) | 703836,0 | 210 | | | |

De las tablas anteriores se confirma la relación significativa entre las variables y que la variable importancia de la playa para la recreación (implaya) no es significativa, este resultado es interesante, pues demuestra como el valor que las personas le conceden a la playa no depende del uso que hagan de ella para su recreación. A continuación se muestran los resultados del análisis luego de excluida la variables implaya.

General Linear Models

Number of dependent variables: 1
 Number of categorical factors: 3
 Number of quantitative factors: 1

Analysis of Variance for DAP

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| Model | 374489,0 | 9 | 41609,8 | 25,39 | 0,0000 |
| Residual | 329347,0 | 201 | 1638,54 | | |
| Total (Corr.) | 703836,0 | 210 | | | |

Sums of Squares

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|-------------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| estudio | 3672,8 | 2 | 1836,4 | 1,12 | 0,3281 |
| residencia | 15914,5 | 5 | 3182,89 | 1,94 | 0,0889 |
| sexo | 2954,21 | 1 | 2954,21 | 1,80 | 0,1809 |
| ingreso | 227772,0 | 1 | 227772,0 | 139,01 | 0,0000 |
| Residual | 329347,0 | 201 | 1638,54 | | |
| Total (corrected) | 703836,0 | 210 | | | |

Del análisis de esta tablas se infiere que la relación es significativa y que la variable estudio no es significativa, por lo que se realiza un nuevo ajuste sin considerarla.

General Linear Models

Number of dependent variables: 1
 Number of categorical factors: 2
 Number of quantitative factors: 1

Analysis of Variance for DAP

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| Model | 370816,0 | 7 | 52973,7 | 32,29 | 0,0000 |
| Residual | 333020,0 | 203 | 1640,49 | | |
| Total (Corr.) | 703836,0 | 210 | | | |

Sums of Squares

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|-------------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| residencia | 15057,1 | 5 | 3011,41 | 1,84 | 0,1074 |
| sexo | 2280,03 | 1 | 2280,03 | 1,39 | 0,2398 |
| ingreso | 356791,0 | 1 | 356791,0 | 217,49 | 0,0000 |
| Residual | 333020,0 | 203 | 1640,49 | | |
| Total (corrected) | 703836,0 | 210 | | | |

En estas tablas puede apreciarse que la relación es significativa entre la variable DAP y las variables explicativas consideradas, sin embargo la variable sexo no es importante, por lo que se retirará del modelo.

General Linear Models

Number of dependent variables: 1
 Number of categorical factors: 1
 Number of quantitative factors: 1

Analysis of Variance for DAP

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| Model | 368536,0 | 6 | 61422,6 | 37,37 | 0,0000 |
| Residual | 335300,0 | 204 | 1643,63 | | |
| Total (Corr.) | 703836,0 | 210 | | | |

Sums of Squares

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|-------------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| residencia | 14447,5 | 5 | 2889,5 | 1,76 | 0,1230 |
| ingreso | 355679,0 | 1 | 355679,0 | 216,40 | 0,0000 |
| Residual | 335300,0 | 204 | 1643,63 | | |
| Total (corrected) | 703836,0 | 210 | | | |

En estas tablas es apreciable la significación de la relación, pero la variable residencia no es representativa de tal significación, por lo que se retira del modelo y se realiza un nuevo ajuste, el cual se muestra a continuación:

General Linear Models

Number of dependent variables: 1
 Number of categorical factors: 0
 Number of quantitative factors: 1

Analysis of Variance for DAP

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| Model | 388747,0 | 1 | 388747,0 | 210,85 | 0,0000 |
| Residual | 385328,0 | 209 | 1843,68 | | |
| Total (Corr.) | 774075,0 | 210 | | | |

En esta tabla puede apreciarse la relación significativa entre la variable DAP y la variable ingreso, a continuación se pasa a la verificación de los supuestos de la regresión, los cuales exigen normalidad e independencia para los residuos y la condición de homocedasticidad (igual de varianza) en los mismos, para ello se investigan los gráficos de los residuos:

Gráfico # 1

Residual Plot

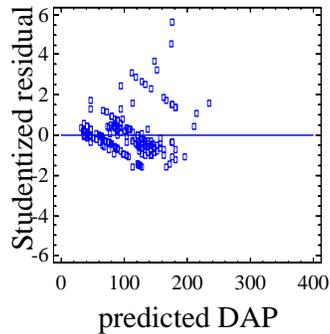


Gráfico # 2

Residual Plot

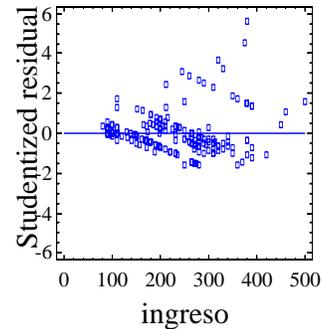
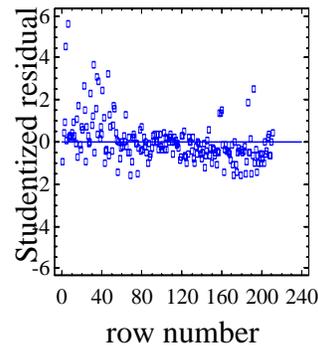


Gráfico # 3

Residual Plot



En los gráficos 1 y 3 puede apreciarse la violación del supuesto de homocedasticidad, lo cual obliga a la transformación de la variable ingreso. La violación de este supuesto es expresado matemáticamente como que la varianza de los residuos depende de los niveles de la variable ingreso, asumiendo que la función que representa dicha relación es $f(\text{ingreso}) = \text{ingreso}$, la transformación a realizar resulta en una ecuación de regresión sin constante y con dos variables:

$$\frac{1}{\sqrt{\text{ingreso}}}, \sqrt{\text{ingreso}}$$

A continuación se muestra el análisis realizado; los gráficos de los residuos para la verificación del cumplimiento de los supuestos en el modelo transformado aparecen en el Anexo # 3:

General Linear Models

Number of dependent variables: 1
 Number of categorical factors: 0
 Number of quantitative factors: 2

Analysis of Variance for DAP/sqrt(ingreso)

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| Model | 10022,6 | 2 | 5011,32 | 760,33 | 0,0000 |
| Residual | 1377,52 | 209 | 6,59101 | | |
| Total (Corr.) | 11400,2 | 211 | | | |

Sums of Squares

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|-----------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| sqrt(ingreso) | 1669,93 | 1 | 1669,93 | 253,36 | 0,0000 |
| 1/sqrt(ingreso) | 0,124907 | 1 | 0,124907 | 0,02 | 0,8906 |
| Residual | 1377,52 | 209 | 6,59101 | | |
| Total | 11400,2 | 211 | | | |

Intervalos de confianza para los coeficientes estimados:

95,0% confidence intervals for coefficient estimates (DAP/sqrt(ingreso))

| Parameter | Estimate | Standard Error | Lower Limit | Upper Limit | V.I.F. |
|-----------------|----------|----------------|-------------|-------------|---------|
| sqrt(ingreso) | 0,449432 | 0,0282352 | 0,39377 | 0,505094 | 5,90824 |
| 1/sqrt(ingreso) | 0,820142 | 5,9576 | -10,9246 | 12,5648 | 5,90824 |

La ecuación ajustada es:

$$DAP/sqrt(ingreso) = 0,449432 * sqrt(ingreso) + 0,820142 * 1/sqrt(ingreso)$$

La estimación del valor de la disposición a pagar, utilizando la ecuación ajustada y las observaciones de la muestra, se muestran en la siguiente tabla:

| Instrumento de estimación | Media | Extremo inferior del intervalo | Extremo superior del intervalo |
|---------------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------|
| Observaciones | 104.86 | 96.62 | 113.10 |
| Por la regresión | 104.83 | 99.51 | 110.16 |

Esta estimación constituye un indicador del valor que representa, en promedio, la recuperación de la calidad ambiental en la playa estudiada para cada ciudadano. Considerado el total de la población mayor de 18 años puede estimarse la utilidad que genera la recuperación de la playa en 6,1 millones de pesos.

3.3 Evaluación de alternativas de reducción de contaminación.

En la actualidad, pasado tres años de la reducción del 76% de los contaminantes orgánicos, las condiciones favorecen al mejoramiento de la calidad de las aguas de la bahía, sin embargo, la existencia aún de fuentes puntuales, que por el momento no representan un problema ambiental crítico, obligan a la reflexión a la hora de decidir si tolerar o no su existencia.

Si bien los volúmenes de materia orgánica incorporados a la bahía a través de los efluentes de estas fuentes, no son significativos, sí representan una agresión puntual en la zona donde son vertidos, éstos, justamente, ocurren en el litoral de la ciudad, un área muy cercana a la playa, además que retrasan en el tiempo la recuperación total de las aguas.

3.3.1 Aplicación del modelo propuesto en el epígrafe 1.6.

En este epígrafe se analiza el efecto de la reducción del aporte de materia orgánica por las fuentes puntuales, para ello se utilizó el modelo expuesto en el epígrafe 1.6.

Para estimar los valores de los parámetros del modelo, se proponen los siguientes supuestos:

1. Se asume que el nivel de contaminante orgánico en el tiempo t , x_t , se iguala a la capacidad máxima de asimilación, K , cuando los efectos de la contaminación se hace visible.

2. Se sabe que :

$$K = \beta\rho_0 \quad (1)$$

$$K = n(y_{tu} - \rho_0) + \text{resto} \quad (2)$$

Donde n = el número total de períodos desde que comienza la carga promedio y_{tu} hasta que se hace visible el deterioro.

Se asume el resto despreciable. Por tanto, utilizando las expresiones (1) y (2), se obtiene:

$$\rho_0 = \frac{ny_{tu}}{\beta + n}$$

3. Se propone usar:

$$\beta = \frac{y_{tu}}{y_{t0}}$$

donde: y_{tu} es la carga promedio cuando ocurre el daño visible

y_{t0} es la carga promedio que caracteriza el período anterior a la ocurrencia del daño visible

4. El tiempo será dado en años.

Para calcular los valores promedios de carga contaminante, expresada en DBO, por períodos de varios años, es necesario disponer de registros históricos de este parámetro. Se grafican y se determinan los intervalos de años que definen los periodos donde se calcularan los valores promedios.

Para este estudio no se dispone de los mencionados registros, lo que obliga a pensar en algún indicador económico utilizado por las empresas que exprese directamente o indirectamente el volumen de producción de las empresas contaminadoras. Esto es posible, al asumir que la carga generada es proporcional al nivel de producción o sea:

$$y_{tu} = kc_{tu}$$

$$y_{t0} = kc_{t0}$$

entonces:

$$\beta = \frac{y_{tu}}{y_{t0}} = \frac{c_{tu}}{c_{t0}} \quad (3.5)$$

donde c_{tu} es el indicador del período tu

$$c_{tu} = \sum_j p_j c_{tuj}$$

p_j es una ponderación dada a las empresas contaminadoras en dependencia a la distancia de ellas a la bahía y a la concentración de sus residuales.

$$p_j = Con_j Di_j$$

Con_j : concentración del residual de la empresa j

- Si es evaluada de baja, la variable Con_j toma el valor 0.2
- Si es evaluada de media, la variable Con_j toma el valor 0.5
- Si es evaluada de alta, la variable Con_j toma el valor 1

Di_j :

- Si el vertido de la empresa j es directo a la bahía Di_j toma el valor 1
- Si el vertido es indirecto, Di_j toma el valor 0.5 si la ubicación de los vertidos es a menos de 1 km de la bahía, si es más Di_j tomará el valor 0.2

La apreciación de los habitantes de la ciudad de Cárdenas es que la bahía comenzó a mostrar signos de deterioro a mediados de los años 80, por lo que se tomó el año 1987 como el momento en que se iguala la concentración de contaminante a la capacidad máxima de asimilación. Utilizando los registros de producción de las empresas contaminadoras se fijó el año 80 como comienzo del periodo para el cálculo de y_{tu} , de donde se deduce que $n = 7$, con esta información y la expresión 3.5 se estimó el valor de β , que resultó de 3, con el mismo y el valor promedio de carga en la década del 90 como valor para $y_{tu} = 12176$ se calculó el valor ρ_0 que resultó ser de 8523, de donde se concluye que $K = 25569$.

Con estos valores se realizó una simulación, desde el año 1987 hasta el 2010, los resultados se muestran en la tabla 3.10, en las columnas 6, 7 y 8 se registra el nivel de contaminante al realizar una reducción del 76% en el año 2004, y en las 9, 10 y 11 puede apreciarse el nivel de contaminante después de una reducción del 16% en el año 2005.

Como puede constatarse la bahía responde positivamente a la reducción hecha en el 2001 del 76% de la carga contaminante, lo cual se evidencia en el parámetro α , que representa el porcentaje de la tasa de asimilación inicial, sin embargo se logra aumentar la velocidad de recuperación con las reducciones adicionales.

Tabla 3.10 Resultados de la simulación

| T | Año | x_t | ρ_t | α_t | | | | | | |
|-------------------|-----|-------|----------|------------|------------------------|----------|------------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 87 | 25569 | 8523 | 1 | | | | | | |
| 2 | 88 | 29222 | 8389 | .9842 | | | | | | |
| 3 | 89 | 33009 | 8250 | .9679 | | | | | | |
| 4 | 90 | 36935 | 8106 | .9511 | | | | | | |
| 5 | 91 | 41005 | 7957 | .9335 | | | | | | |
| 6 | 92 | 45224 | 7802 | .9154 | | | | | | |
| 7 | 93 | 49598 | 7641 | .8966 | | | | | | |
| 8 | 94 | 54133 | 7475 | .8771 | | | | | | |
| 9 | 95 | 58834 | 7303 | .8568 | | | | | | |
| 10 | 96 | 63707 | 7124 | .8359 | | | | | | |
| 11 | 97 | 68759 | 6939 | .8142 | | | | | | |
| 12 | 98 | 73996 | 6747 | .7917 | | | | | | |
| 13 | 99 | 79425 | 6548 | .7683 | | | | | | |
| 14 | 00 | 85053 | 6341 | .7441 | | | | | | |
| 15 | 01 | 90888 | 6127 | .7189 | | | | | | |
| 16 | 02 | 87611 | 6248 | .7330 | | | | | | |
| Reducción del 76% | | | | | | | | | | |
| 17 | 03 | 84213 | 6372 | .7477 | Reducción 4% adicional | | | | | |
| 18 | 04 | 80690 | 6477 | .7628 | x_t | ρ_t | α_t | Reducción 16% adicional | | |
| 19 | 05 | 77063 | 6563 | .7784 | 76943 | 6639 | .7789 | x_t | ρ_t | α_t |
| 20 | 06 | 73350 | 6733 | .7940 | 73034 | 6783 | .7958 | 72595 | 6799 | .7977 |
| 21 | 07 | 69467 | 6913 | .8111 | 68981 | 6931 | .8132 | 68087 | 6964 | .8171 |
| 22 | 08 | 65404 | 6989 | .8280 | 64780 | 7085 | .8313 | 63414 | 7235 | .8372 |
| 23 | 09 | 61265 | 7214 | .8464 | 60425 | 7245 | .8500 | 58570 | 7329 | .8600 |
| 24 | 10 | 56901 | 7374 | .8652 | 55910 | 7415 | .8700 | 53532 | 7500 | .8800 |

3.3.2 Definición de las alternativas de reducción.

El objetivo de este análisis está en la disminución de los niveles de contaminación orgánica en el litoral de la ciudad de Cárdenas y a su vez contribuir al mejoramiento de la calidad de las aguas de la playa. Por tanto las alternativas de reducción generadas estarán dadas por acciones a acometer en las fuentes de contaminación puntuales. Por ello dentro de las alternativas no se considerarán las fuentes cuyos residuales no inciden directamente en esta zona: CAI Esteban Hernández, Canal de Roque, La empresa Productos Sanitarios (PROSA, SA)

Analicemos las posibilidades de cada una de las entidades contaminadoras de reducir su carga a la bahía antes de definir las alternativas.

- Procesadora de langosta

Los residuales líquidos con una alta concentración orgánica de esta empresa son vertidos, actualmente, directamente al mar, como consecuencia de no disponer de una bomba de expulsión que los traslade a la laguna de oxidación "13 de Marzo". Por tanto la acción recomendada para resolver el mencionado problema es la compra y puesta en explotación de una bomba, además de la reparación de las tuberías de impulsión.

Estimado de costo de inversión total: \$2 400

Estas acciones permitirán que la empresa deje de verter directamente a la bahía las 30 t de DBO generada por ella cada año.

- Combinado lácteo.

Este Combinado posee dos establecimientos ubicados: uno en la ciudad a solo 1.5 Km de la bahía (fábrica de helado) y el otro a las afuera de la misma. Las producciones lácteas son altas consumidoras de agua, por lo que generan grandes volúmenes de residuales líquidos; en la actualidad estos son vertidos a pozos de infiltración, que en opinión de experto, impactan las aguas del litoral de la ciudad por su cercanía a la bahía y las características del terreno de la zona.

Los directivos del combinado lácteo plantean la necesidad de un redimensionamiento de la fábrica de Helado, por lo que proponen mudarla al otro establecimiento, que posee la infraestructura suficiente para absolverlos, además de disponer de una planta de tratamiento en desuso por encontrarse deteriorada, la cual, si es recuperada, podrá tratar los residuales de la fábrica aumentada. Por tanto la acción propuesta implica: mudar la fábrica de helado (desinstalación y reinstalación en el nuevo lugar) y reparar la planta de tratamiento.

Estimado de costo total: \$1 503 900

Estas acciones condicionarán la reducción del aporte anual de DBO de esta empresa a la bahía en un 75 %, lo que significa una disminución en 48 t/año de DBO.

- La laguna "13 de Marzo"

Asimila los residuales del reparto de su mismo nombre. Dada las condiciones de deterioro que presenta, se considera que tiene una eficiencia por debajo del 30%; la acción recomendada es su recuperación.

Estimado de costo de la inversión \$ 255 954

Estas acciones lograrán que la laguna trabaje al menos a un 80 % , lo que significa una reducción de 51 t/año de DBO.

En el caso de la carga aportada por los residuales de la ciudad, se propone la construcción del alcantarillado, que según estimados de la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos asciende a 17 400 000, esta inversión garantizará una reducción de 585 t/año de DBO de la carga a la bahía.

Analizadas las posibles acciones a acometer se definieron las siguientes alternativas:

A1: Las acciones en la procesadora de langosta más la recuperación de la laguna "13 de Marzo" y las acciones en el combinado lácteo

A2: La construcción del alcantarillado de la ciudad.

A3: A1 + A2

Para el análisis de las alternativas definidas, las mismas deben ser evaluadas en un conjunto de criterios; el resultado de esta evaluación debe ser sintetizado a través de alguna técnica de agregación multicriterio. En este estudio se propone el uso del método NAIADE, considerando su capacidad de tratar información de tipo mixto, cuantitativo y cualitativa, y la incertidumbre de la información disponible, además de la posibilidad de manipular el nivel de compensación entre criterios.

3.3.3 Definición de los criterios para la valoración de las alternativas.

El objetivo de todas las alternativas definidas debe ser mejorar la calidad de las aguas del litoral de la ciudad de Cárdenas, considerando que cualquier reducción de la carga favorece el mejoramiento de las mismas, por tanto, los criterios de evaluación para el análisis deberán responder a ese objetivo general y concentrarse en la evaluación de los costos y/o beneficios (económicos, sociales y ambientales) con que las alternativas logran el mencionado objetivo. Con esa idea se definen los siguientes criterios:

- Económicos:
 - Beneficios
 - Costo de la inversión/total mitigado
 - Propicia el desarrollo de actividades turísticas recreativas
- Ambientales:
 - Reduce otros contaminantes
 - Reducción total
 - Incidencia sobre la biodiversidad en la bahía
 - Mejora ambiental en el lugar
- Sociales:
 - Incidencia en la imagen del lugar
 - Incidencia en el paisaje de la ciudad
 - Efecto educacional

Beneficios. Este criterio, expresado en unidades monetarias por año, indica cuánto se ingresaría por la disminución de los niveles de contaminación, lo cual fue obtenido en la valoración económica del efecto de la contaminación sobre algunos de los bienes y servicios ofertados por la bahía. Ahora bien, no se conoce el beneficio por unidad reducida, ni se dispone de información que permita el cálculo de la misma. Por lo que se decidió seguir el siguiente procedimiento para la estimación de este beneficio para cada una de las alternativas de reducción:

Estimar un índice que exprese la intensidad de la mejoría de la bahía como resultado de la reducción lograda con la alternativa i , Im_i :

Para la estimación de este índice se aplicó la siguiente encuesta a 6 expertos:

| Encuesta # 4 | | | |
|--|--|------------------------------------|---|
| <p><i>Se está valorando el efecto positivo en las condiciones naturales de la bahía de Cárdenas de realizarse una reducción de la carga contaminante que se vierte en la misma. Marque con una X según su criterio de mejora de estas condiciones en dependencia de diferentes niveles de reducción:</i></p> | | | |
| <i>Niveles de reducción (tn/año de DBO)</i> | <i>Casi seguro a seguro que mejora</i> | <i>Duda (pudiera o no mejorar)</i> | <i>Casi seguro a seguro que no mejora</i> |
| 120 | | | |
| 585 | | | |
| 701 | | | |

En caso de admitir una posible mejoría , evalúe la intensidad con que se produciría:

Baja: Cuando el cambio es imperceptible o muy pequeño no alterando la condición actual

Media: Cuando hay cambio significativo con respecto a la calidad actual sin que ello suponga una mejoría evidente.

Alta: Cuando se produzca una mejoría evidente de la calidad.

Procedimiento para la síntesis de la información dada por los expertos:

Se dará la siguiente puntuación a las respuestas:

- Casi seguro a seguro que mejora: 1
- Duda: 0.5
- Casi seguro a seguro que no mejora: 0
- Intensidad baja: 1
- Intensidad media: 3
- Intensidad alta: 5

Sea P_{ij} la evaluación del experto j de la alternativa i en la pregunta de la seguridad de mejora y I_{ij} la intensidad con que evaluó la mejoría en caso de que la admitiese.

Se construye entonces una matriz [Mij] de orden 3x6 con los resultados de (P_{ij} x I_{ij})/5

$$Im_i = \frac{\sum_{j=1}^6 m_{ij}}{6}$$

A continuación se muestran los resultados de la aplicación de la encuesta:

$$\begin{bmatrix} .1 & .1 & 0 & .2 & 0 & .1 \\ .6 & .6 & .2 & .3 & .2 & .3 \\ 1 & 1 & 1 & .6 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} Im_i \\ \left[\begin{matrix} .08 \\ .37 \\ .93 \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

Los beneficios aportados por cada alternativas será la sumatoria de las pérdidas evitadas por la recuperación en la captura de la langosta y la recolección del ostión (\$560 000), multiplicada por el índice calculado.

Los resultados de valoración de cada alternativa en este criterio son:

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Beneficio | 44800 | 207200 | 520800 |

Costo de la inversión/total mitigado

La Alternativa # 1 tiene implicado acciones en tres fuentes puntuales de contaminación, por tanto el costo de la misma es la suma de los costos en cada una y el total mitigado es la suma de lo que mitiga cada una de las acciones, al igual que la alternativa tres que contempla dos acciones, su costo será la suma de los costos de ambas y el total mitigado la suma de lo que mitiga cada una.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Costo/mitigado | 14 445.70 | 29 743.60 | 44 189.3 |

Propicia el desarrollo de actividades turísticas recreativas. Las condiciones actuales de la playa no permiten su uso como lugar para desarrollar actividades

turísticas recreativas, las cuales, como se demostró en epígrafes anteriores reportan beneficio a los ciudadanos de Cárdenas. Este beneficio es reflejado en la disponibilidad de los mismos por recuperar la playa.

Cada una de las alternativas a evaluar, dado por el posible efecto que provocará sobre la calidad de las aguas del litoral, propiciará el desempeño de actividades recreativas en el lugar. Es conocido que el uso del agua con fines recreacionales puede revestir dos formas:

- a) Con contacto directo o primario: Este engloba a las actividades que involucran inmersión en agua con potencial ingestión de la misma. El contacto primario incluye, entre otras actividades, natación, ski acuático, buceo y surfing.
- b) Con contacto indirecto o secundario: Este no involucra inmersión e incluye, entre otras actividades, remo, boating, wading, pesca, navegación, rafting y power boating.

Pueden señalarse los siguientes requerimientos generales para las aguas destinadas al uso recreacional:

- Su calidad debe observar pautas microbiológicas y fisicoquímicas que no involucren riesgo para la salud de las personas expuestas
- Deben estar libres de organismos vectores de enfermedades que aporten riesgo para la salud de las personas antedichas
- Deben reunir condiciones que proveen a su estética

Por tanto la evaluación de cómo cada alternativa propicia el desarrollo de actividades recreativas, estará dada en nivel en que garantizan cada uno de los requerimientos anteriores, considerando que las actividades que implican un contacto directo con el agua, son más exigentes en estos requerimientos.

Este criterio se evaluará cualitativamente, considerando que una alternativa será buena propiciadora de actividades recreativas, si posibilita actividades recreativas de uso directo del agua, será moderadamente buena si solo posibilita el uso indirecto y mala sino posibilita el uso indirecto.

Para decidir si propicia las actividades de uso directo e indirecto se debe tener en cuenta el volumen de residual tratado y sus características físico- químicas bacteriológicas, lo cual fue evaluado por especialistas de la dirección provincial de

recursos hidráulicos; los resultados de valoración de cada alternativa en este criterio son:

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Propicia actividades turísticas - recreativas | Mala | Buena | Buena |

Reduce otros contaminantes. Este criterio lo declaramos de tipo cualitativo y tiene en cuenta para su evaluación las características de los residuales tratados, así como su efectividad en otros indicadores químico-bacteriológicos de la calidad del agua.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Reducción de otros contaminantes | Buena | Buena | Muy buena |

Reducción total: Este indicador muestra el total de DBO disminuido por cada alternativa, dado en toneladas al año.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Reducción | 122 | 585 | 707 |

Incidencia sobre la biodiversidad en la bahía. Al ser reconocido por los expertos la alta sensibilidad de la biodiversidad a la presencia de contaminantes en la bahía, es evidente que el efecto sobre la misma será positivo en la medida que disminuyan los niveles de contaminación, sin embargo existe mucha incertidumbre alrededor de la magnitud de la respuesta ante la reducción de la carga, por lo que se decidió medir este criterio a través del índice de mejora de calidad determinado en la evaluación del primer criterio, pero como un número borroso, en los Anexos 4 – 6 pueden verse las funciones de pertenencia utilizadas para la evaluación de cada alternativa.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Incidencia sobre la biodiversidad | Aprox(0.08) | Aprox(0.37) | Aprox(0.93) |

Mejora ambiental en el lugar. Este criterio será de tipo cualitativo y el mismo estima la incidencia de la alternativa adoptada en el lugar donde se implementa.

Alternativa 1. Al no verter directamente a la bahía los residuales de la producción de la procesadora de langosta se logra disminuir los malos olores en el lugar, en el caso del combinado lácteo la acción acometida evita la posible contaminación del manto freático por la infiltración de sus residuales sin tratar, además que contribuye con la limpieza del lugar. Por lo expuesto puede catalogarse el efecto de esta alternativa sobre su entorno como bueno.

Alternativa 2: El alcantarillado de la ciudad es una acción que la implica en su totalidad y es evidente el efecto sobre su entorno que traerá, por cuanto se eliminarán los derrames de la fosas actuales de la ciudad y por tanto una disminución de vectores trasmisores de enfermedades, por lo que puede calificarse este indicador para esta alternativa de muy bueno.

Alternativa 3: Esta variante incluye las otras dos lo que hace que el criterio sea evaluado de excelente.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|------------------|---------------|---------------|---------------|
| Mejora ambiental | Bueno | Muy Bueno | Excelente |

Incidencia en la imagen del lugar. En este criterio de tipo cualitativo se tendrá en cuenta la contribución de la acción en la imagen competitiva de la empresa que la acomete, además del efecto en la imagen paisajística.

Alternativa 1. En las acciones de marketing acometidas por las empresas implicadas en esta alternativa: la procesadora de langosta y el combinado lácteo, le será muy útil incluir la dimensión ambiental, por cuanto es una preocupación creciente de los clientes, el consumo de productos ecológicamente certificados, para lo cual es necesario poseer producciones no agresivas al medio ambiente. A su vez que estas acciones mejoran el paisaje del lugar donde se acometen, pues elimina vertederos, zanjas y áreas verdes descuidadas, sobre todo por la

recuperación de la laguna de “13 de Marzo”. Por lo anterior será calificada esta alternativa de muy buena en este criterio.

Alternativa 2. No procede hablar de contribución a la imagen competitiva para el caso del alcantarillado, pero sí se le reconoce su contribución a la imagen del lugar donde se efectúa (la ciudad), lo cual califica esta alternativa en este criterio como buena

Alternativa 3. Esta alternativa al incluir las dos anteriores, se califica como muy buena.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|------------------|---------------|---------------|---------------|
| Imagen del lugar | Muy Buena | Buena | Muy Buena |

Incidencia en el paisaje de la ciudad. Este criterio evalúa las alternativas considerando como ellas contribuyen a una mejor imagen de la ciudad.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Paisaje de la ciudad | Moderado | Muy Bueno | Muy Bueno |

Efecto educacional. Uno de los valores reconocidos a la bahía es la de propiciar la obtención de información científica-educativa, al posibilitar a los ciudadanos de Cárdenas estar en contacto con el medio marino, aprender sobre sus ecosistemas y sobre las actividades históricas desarrolladas en el lugar. La gestión que se haga para que las aguas de la bahía presenten la calidad requerida, será un mensaje positivo que incidirá en la conciencia ambiental de los habitantes del lugar, demostrando que acciones acometidas en las industrias de su localidad posibilitan tener un ambiente más saludable, comprometiéndolos en la indispensable lucha por la preservación del medio ambiente.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Efecto educacional | Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno |

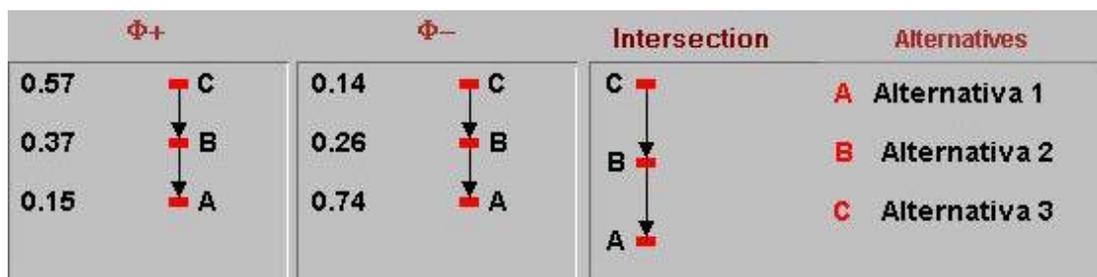
3.3.4 Aplicación del proceso de agregación de criterios del NIAIDE.

Las valoraciones anteriormente expuestas de las alternativas según todos los criterios definen la siguiente matriz de evaluación:

| Matrix type | | Case Study | | |
|--------------------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| Impact | | Bahía de Cárdenas | | |
| Criterios | Alternatives | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
| | Beneficio | | 44800 | 207200 |
| costo/mitigado | | 14475.7 | 29743.6 | 44189.3 |
| propic actv turística | | Mala | Buena | Buena |
| reduce otros cont. | | Buena | Buena | Muy Buena |
| reduccion total | | 122 | 585 | 707 |
| incidencia biodiversidad | | Aprox{0.08} | Aprox{0.37} | Aprox{0.93} |
| Mejora Ambiental | | Buena | Muy buena | Excelente |
| Imagen del lugar | | Muy Buena | Buena | Muy Buena |
| Paisaje ciudad | | Moderado | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Efecto Educativo | | Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno |

El análisis multicriterio con el modelo NIAIDE de los datos de dicha matriz ha generado los resultados que se muestran en la siguiente figura:

Fig. 3.14 Resultados del análisis multicriterio



La alternativa preferida según el análisis realizado es la tercera o sea la que implica todas las acciones. Esta alternativa es la más costosa sin embargo resultó la preferida, lo cual puede ser explicado por el hecho de que muchos criterios de tipo ambiental y social definidos, le favorecen (Anexos 7, 8 y 9). El ordenamiento completo es el siguiente:

1. Construcción del alcantarillado de la ciudad y realización de las acciones en cada una de las fuentes contaminantes consideradas.
2. Construcción del alcantarillado de la ciudad.
3. Las acciones en cada una de las fuentes contaminadoras consideradas.

Para analizar la robustez de los resultados obtenidos (Munda, G. y otros, 2003) se recomienda variar el parámetro α (requerimiento mínimo para las relaciones borrosas) y el operador de agregación utilizado, que condiciona el nivel de compensabilidad permitido. A continuación se muestran los resultados con diferentes combinaciones de parámetros y operadores:

Tabla 3. 11. Ordenamiento de las alternativas para diferentes combinaciones de parámetros y operadores de agregación

| | $\alpha = 0.4$ | $\alpha = 0.6$ | $\alpha = 0.8$ |
|--|---|---|---|
| Operador mínimo | $\phi+$ 0.27 C $\phi+$ 0.22 B $\phi+$ 0.16 A $\phi-$ 0.16 C $\phi-$ 0.17 B $\phi-$ 0.33 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A | $\phi+$ 0.12 C $\phi+$ 0.11 B $\phi+$ 0.08 A $\phi-$ 0.08 C $\phi-$ 0.08 B $\phi-$ 0.15 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A | $\phi+$ 0.04 C $\phi+$ 0.04 B $\phi+$ 0.03 A $\phi-$ 0.03 C $\phi-$ 0.03 B $\phi-$ 0.04 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A |
| Operador Zimmermann-Zysno $\gamma = 0:5$ | $\phi+$ 0.50 C $\phi+$ 0.46 B $\phi+$ 0.40 A $\phi-$ 0.40 C $\phi-$ 0.41 B $\phi-$ 0.55 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A | $\phi+$ 0.33 C $\phi+$ 0.32 B $\phi+$ 0.28 A $\phi-$ 0.28 C $\phi-$ 0.28 B $\phi-$ 0.37 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A | $\phi+$ 0.19 C $\phi+$ 0.19 B $\phi+$ 0.17 A $\phi-$ 0.17 C $\phi-$ 0.18 B $\phi-$ 0.20 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A |
| Simple Producto | $\phi+$ 0.24 C $\phi+$ 0.21 B $\phi+$ 0.16 A $\phi-$ 0.16 C $\phi-$ 0.17 B $\phi-$ 0.29 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A | $\phi+$ 0.11 C $\phi+$ 0.10 B $\phi+$ 0.08 A $\phi-$ 0.08 C $\phi-$ 0.08 B $\phi-$ 0.14 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A | $\phi+$ 0.04 C $\phi+$ 0.03 B $\phi+$ 0.03 A $\phi-$ 0.03 C $\phi-$ 0.03 B $\phi-$ 0.04 A <i>Intersection</i> C <i>Intersection</i> B <i>Intersection</i> A |

Como puede apreciarse en la tabla anterior, las variaciones en el nivel de compensación y en el parámetro α no varían el ordenamiento de las alternativas, por lo que los resultados son poco sensibles a los cambios realizados, demostrándose su robustez.

Es bueno aclarar que los resultados del análisis multicriterio son de ayuda a la toma de decisión al mostrar las ventajas y desventajas de cada acción, además de brindar transparencia al proceso, cuando permite valorar los cambios en los resultados ante diferentes políticas en la selección de los parámetros; por tanto sus salidas deben ser interpretadas de ese modo, quien toma la decisión son las partes implicadas en el proceso (decision-maker).

La aplicación del diseño metodológico propuesto permitió arribar a los siguientes resultados:

- La contaminación en la bahía ha provocado pérdidas a la empresa pesquera de Cárdenas cuyo monto estimado en miles de pesos se muestra en la siguiente tabla:

| Bienes valorados | Ingresos dejados de percibir anual (miles de pesos) |
|------------------------|---|
| Captura de langosta | 1060,0 |
| Disminución del ostión | 900,0 |

- Las entrevistas realizadas como instrumento para la aplicación del método de valoración contingente aportaron la siguiente información:

- El 97.5% de los entrevistados consideran la playa importante para su recreación.
- El 99.5% reconoce la calidad del agua de la playa para el desarrollo de las actividades de sol y playa.
- La actividad vinculada con la playa más preferida es el baño de mar, continuándole la pesca, el alquiler de botes y por último tomar el sol.
- El 98% de las respuestas de protesta reflejan la inconformidad del planteamiento de la encuesta.
- Ni el lugar de residencia, ni el sexo, ni la edad de las personas entrevistadas determinan para que una encuesta sea rechazada.
- Ni la escolaridad, ni el lugar de residencia, ni la edad, ni el sexo, ni la importancia que le conceden a la playa influyen en la disponibilidad a pagar.
- Solo el nivel de ingreso incide sobre la disposición a pagar.
- La población cardenense valora la playa de su ciudad por su potencialidad para el desarrollo de actividades recreativas.

- El método multicriterio NAIADE resultó el más apropiado para la evaluación de las alternativas de reducción de la contaminación de la bahía, ofreciendo un ordenamiento de las mismas considerando las dimensiones económica, social y ambiental.

Conclusiones:

Una vez concluido el trabajo de investigación encaminado a la evaluación económica del efecto de la contaminación de la bahía de Cárdenas, se señalan las siguientes conclusiones:

1. Se demuestra la necesidad y factibilidad del uso de métodos cuantitativos en la medición económica del efecto de la contaminación ambiental, adecuando los métodos de valoración económica de cambios en la calidad ambiental utilizados internacionalmente, a las características socioeconómicas del país. A pesar de su complejidad, la medición económica contribuye de forma sustantiva al cumplimiento de los objetivos planteados en la Estrategia Ambiental Nacional.
2. La bahía de Cárdenas presenta problemas de contaminación como consecuencia de la existencia de entidades que vierten sus residuales sin previo tratamiento, directamente a este cuerpo de agua o al subsuelo como lo demuestran estudios técnicos realizados en esta zona, esto provoca una disminución de la capacidad de brindar bienes y servicios lo que condiciona la necesidad de un estudio económico del fenómeno.
3. A partir de la definición de las funciones ecológicas de la bahía se determinaron los bienes y servicios ambientales brindados por ella, precisándose que los más afectados son: La pesca comercial, reserva de especies, oportunidades de recreación (playa, pesca deportiva, actividades náuticas) y conservación de la biodiversidad.
4. A pesar de las reducciones de la carga contaminante que recibía la bahía de Cárdenas, aún persisten focos de contaminación, cuya eliminación posibilitaría una recuperación más rápida de la calidad de las aguas de la bahía, propiciando el desarrollo de actividades recreativas que reportan un beneficio a la población cardenense estimado en 6,1 millones de pesos.
5. En los últimos años los niveles de captura de especies comercializables, la conservación de especies y el deterioro de la playa, se han visto afectadas,

fundamentalmente por los problemas de contaminación de la zona, representando desde el punto de vista económico cuantiosas pérdidas.

6. Los resultados de la valoración económica del efecto de la contaminación fueron insuficientes para efectuar la evaluación de variantes de reducción de niveles de contaminación con un enfoque costo – beneficio, por lo que se optó por utilizar técnicas multicriterio.

7. Los resultados de la aplicación del método multicriterio NAIADE proponen la alternativa de construcción del alcantarillado con las acciones en el resto de las fuentes puntuales de contaminación, como la más preferida de las variantes de reducción analizadas, considerando las dimensiones económica, ambiental y social.

Recomendaciones:

1. Se recomienda incentivar la utilización de técnicas matemáticas en la evaluación económica de problemas ambientales.
2. Se recomienda utilizar el procedimiento propuesto para la evaluación económica para ayudar a la toma de decisiones con respecto al manejo de las bahías.
3. Se recomienda la utilización de los resultados de este trabajo por las autoridades del territorio cardenense como fundamento a las inversiones con vistas a mejorar la calidad de las aguas de la bahía de Cárdenas.

Bibliografía:

1. Aguilera Klink, Federico, Alcántara, Vicente. (compiladores).(1994). De la economía ambiental a la Economía Ecológica. Barcelona. Editorial Icaria Fuhen DL. Alianza Editorial.
2. Aguilera Klink, Federico.(1997). Instituciones e instrumentos útiles para mejorar la gestión del agua en La economía del agua en España. Madrid. Fundación Argentaria.
3. Alvira F. García M. , San Martín R., Rubio I. (2002) Selección de lectura de Metodología, Métodos y Técnicas de Investigación Social. Editorial Felix Varela. La Habana. Cuba.
4. Amir,S. (1994). The rule of thermodynamics in the study of economic and ecological systems. Ecological Economics 10:125-142.
5. Análisis preliminar del impacto sobre las aves.(2000). Disponible en: <http://www.seo.org/word/PHNInforme.doc>
6. Ayala Carcedo, Francisco J., et al. (1999). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. España. Edita Instituto Tecnológico Geominero.
7. Ayres, R.U. y Kneese, A.V. (1969). Production, consumption and externalities. American Economic Review 59:282-297.
8. Ayres, R.U. (1994). Information, Entropy and Progress. A new Evolutionary Paradigm. American Institute of Physics, New York.
9. Azqueta Oyarzun, Diego (1994). Valoración económica de la calidad ambiental. IMPRESA. España.
10. Azqueta, Diego y Ferreiro, Antonio (1994). Análisis económico y gestión de recursos naturales. Ediciones Alianza. España.
11. Azqueta, Diego y Gonzalo Delacámara (2001). El valor del agua desde una perspectiva económico-social. Ponencia en el Taller Nacional "La gestión integrada de los recursos hídricos: una contribución al consenso" [Lima 20-21 noviembre de 2001] – SAMTAC.
12. Barba-Romero,S. (1996). Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica. Servicio de Publicaciones de la U.A.H. Alcalá de Hinaris. Madrid.
13. Barreiro, Jesús (1998) El problema de los Sesgos en Valoración Contingente. Aplicación a la Estimación de los Valores Ambientales del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Ph.D. dissertation, Universidad de Zaragoza, Spain.

14. Baumol, W.J. (1994). Teoría económica y análisis de operaciones. Editorial Dossat, S.A. España.
15. Bob Sutcliffe. (1994). Desarrollo frente a Ecología. En Ecología Política No 9. Cuadernos de Debate Internacional. Edición ICARIA / FUHEM. Barcelona.
16. Blanco Escandell, Julio (2000). Estudio preliminar de la situación actual de las capturas, esfuerzo pesquero y abundancia de la langosta en la zona pesquera de Matanzas. Ponencia presentada en: Forum medioambiental. Combinado pesquero industrial Cárdenas.
17. Bueno Castán, Roberto (1981). Apuntes para una historia de Cárdenas. Municipio de Cárdenas.
18. Brown, G.M. y Swierzbinski J. (1985). Endangered species, genetic capital and cost reducing R &D. Pag. 111/127 en D.O. Hall, N. Mayers y N.S. Margaris. Eds. Economics of Ecosystems Management. Dr.W. Publ. Dordrecht, The Netherlands.
19. Calzada, A., Mut, F., Menen, J.M. (2003). Cálculo del campo de velocidades de las corrientes marinas en la bahía de Cárdenas. Ponencia al XI Congreso División de Dinámica de fluidos. Sociedad Mexicana de Física. Ciudad México.
20. Canter, Larry W. (1998). Manual de evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Segunda edición. Universidad de Oklahoma. Ediciones MacGraw Hill / Interamericana de España.
21. Carson, Richard T. (2000). Contingent Valuation: A user's Guide. Environ. Sci. Technol. California.
22. Castellano Castro, Marlena (2002). Introducción a la problemática de la valoración ambiental. Ciudad de La Habana. Cuba.
23. Ciencias de la tierra, libro electrónico. Publicado en: <http://www1.cert.es/Asignatura/Ecología>.
24. Cifuentes, J.L., Torres-García, P., Frías, M. (1991). El océano y sus recursos. Progreso S.A. México.
25. Clark, C.W, Clarke, F.H. y Munro, G.R. (1979). The optimal exploitation of renewable resource stocks: problems of irreversible investment, Econometrica 47:25-49.
26. Clark, C.W. y G.R. Munro. (1975). The economics of fishing and modern capital theory: a simplified approach. J. Environ. Econ. Manage, 2:92-106.
27. Clarke, H.R. y Reed, W.J. (1989). The tree witting problem in a stochastic environment. Journal of Dynamics and Control. 13:551-595.

28. Cleveland, C.J.(1987). Biophysical economics: historical perspective and current research trends. *Ecological Modelling* 38:47-73.
29. Colectivo de autores (2002). *Introducción al conocimiento del medio ambiente*. La Habana. Universidad para todos.
30. Colectivo de autores (2003). *Curso de Diversidad Biológica*. La Habana. Universidad para todos.
31. Colectivo de autores (2003). *Curso el Mar y sus Recursos*. La Habana. Universidad para todos.
32. Constanza, R. (ed.) (1991). *Ecological Economics. The science of management of sustainability*. Nueva York y Oxford. Columbia University Press.
33. Constanza, R. (1989). What is ecological economics?. *Ecological Economics*, No 1.
34. Constanza, R. ,F.H. Sklar y M.L. White. 1990. Modeling coastal landscape dynamics. *BioScience* 40:91-107.
35. Cottrell, F. 1995. *Energy and Society*. MacGraw-Hill, New York.
36. *Cuba Verde: En busca de un modelo para la sostenibilidad en el siglo XXI/ sel., comp. y edición. Carlos Jesús Delgado Díaz. La Habana. Editorial José Martí. cop. 1999.*
37. Daly, H. (1989). *Economía, Ecología, Ética*. Fondo de Cultura Económica. México D.F.
38. Dirección de Arquitectura y Urbanismo, (2000). *Plan de ordenamiento territorial y urbano*. Cárdenas.
39. Di Giacomo, Dr. Italo.(2000). *Valuación de Impacto Ambiental*. Curso Post Evento ECODES 2000. Universidad de Matanzas.
40. Dixon, John A., et al. (1995). *Análisis económico de impactos ambientales*. Londres. Editorial Earthan. Publication sltd.
41. Eberle, D.W., Hayden G. (1994) *Crítica de la valoración contingente y del costo de viaje como métodos para la evaluación de los recursos naturales y los ecosistemas*, en Aguilera Klink, F. Alcántara V. (compiladores). *De la economía Ecológica*. Barcelona. Editorial Icaria Fuhén DL.
42. Elorriete, J.I. (2000) *Sistema de valoración del Patrimonio Natural*. <http://www.cfnavarra.es/territorial2000/ponencias>.
43. *Evaluación ambiental de proveedores*. Disponible en: <http://www.Digiweb.com>.
44. *Evaluación de impacto ambiental como un componente de la evaluación económica*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y ambiental. ACODAL

Cali. Colombia Gaceta Ambiental. Edición N0.4 Octubre-Diciembre de 1991 actualizado el 07/Oct/97. CEPIS/OPS/OMS.

45. Evaluación de impacto ambiental según categorías de empresas 21/Mayo/1996-SIM Estudio de evaluación de impacto ambiental. Disponible en: <http://www.CUSTMW.COM/SIM>.

46. Evaluación del impacto ambiental; procedimientos básicos para países en desarrollo Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Evaluación del impacto ambiental. Procedimientos básicos para países en desarrollo Traducción al español Marta Miyashiro CEPIS, Lima-Perú Oficina Regional para Asia y el Pacífico.1988 Actualizado el 09/Oct/97.

47. Falconi, F. Y Burdano, R. (2003). Instrumentos económicos para la gestión ambiental. Decisiones monocriteriales vs. Decisiones multicriterios. Ponencia presentada en el seminario sobre Gestión de los Recursos Naturales organizado por el Colegio Mexicano 10 12 diciembre 2003.

48. Fernández Vítora, Vicente C. (1997). Instrumentos de la gestión ambiental en la empresa. Ediciones Mundi-Prensa.

49. Franco Sala, Luis. (1995). Política Económica del Medio Ambiente. ed. Barcelona: CEDECS Editorial.

50. Freeman, A. Myrick. (1993). The Measurement of Environmental and Resource Values. Theory and Methods. Washington, D.C. Published by Resource for the future.

51. Font Elena. (2000). Gestión de la información en la utilización del proceso analítico jerárquico para la toma de decisiones de nuevos productos. Publicada en <http://www.um.es/fccd/anales/ad03/AD04-2000.PDF>.

52. Forte, F., Nijkamp, P., Torrieri, F.(2001). Shared choices on local sustainability projects: a decision support framework. Research Memorandum

53. Gamboa, G. Y Munda, G (2003). Evaluación multicriterio Social de escenarios de futuro en la XIª Región de Aysen, Chile. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad de Barcelona.

54. García, Dodanys. (2001). Revisión hacia el desarrollo sustentable cubano. Ciencia Innovación y Desarrollo,3: 14-16.

55. García Erice, Ismary R. (2002). Análisis económico del impacto de la contaminación ambiental en el Río Canimar. Trabajo de Diploma (en opción al título de Licenciatura en Economía). Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.

56. Garrido, Raúl J. (1999). Una primera aproximación a la aplicación en Cuba de instrumentos y medidas de carácter económico para la protección del medio ambiente."En Delgado, Carlos J. (edición y compilación). "Cuba Verde. En busca de un modelo para la sustentabilidad en el siglo XXI".

57. Gonzáles, Yani (1999). Estudio ecológico de la bahía de Cárdenas. Trabajo Diploma.
58. Grupo empresarial GEOCUBA, (2002). Resumen municipal. Catastro Nacional. Municipio Cárdenas. GEOCUBA Matanzas.
59. Guerra Fernández, Luis V. (1987). Capacidad técnica y organizativa en que debe quedar el Puerto de Cárdenas después del dragado. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
60. Guitouni, A. Y Martel J.M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research* 109. 501-521.
61. Hair, J.F, Anderson, R.E., Tatham, R.L, Black,W.C (1999). Análisis Multivariante. Quinta Edición. Prentice Hall Iberia.Madrid.
62. Hannon, B. y C. Jorris (1987). A seasonal analysis of the southern North Sea ecosystem. *Ecology* 70: 1916-1934.
63. Harrison, Lee (1996). Manual de auditoria medioambiental. Segunda edición. España. Ediciones MacGrall-Hill.
64. Hellberg, Carlos (1957). Historia Estadística de Cárdenas. Comité Pro- Calles de Cárdenas.
65. Hernández Sampieri, . (1998). Metodología de la Investigación. Ed. McGrawHill.
66. Herrera, María. et al. (1993). La reserva de la biosfera en Cuba. La Habana. Edita Divulgación Ecológica Comité MAB-Cuba.
67. Holling, C.S. (1987). Simplifying the complex: the paradigms of ecological function and structure. *European Journal of Operation Research* 30:139-146.
68. Holling, C.S. (1992). Cross-Scale morphology, geometric and dynamics of ecosystem. *Ecol.Monogr.*62:447-502.
69. Informe parcial Cimab (Centro de Ingeniería y manejo ambiental de Bahía y Costas) . (2001). Diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema de la zona Varadero-Cárdenas. Ciudad de La Habana.
70. Informe final del proyecto Determinación de las alternativas que contribuyan al desarrollo sostenible de los municipios de Martí y Cárdenas (2001)
71. Jordán, Miriam y Niebla, María A. (1997). Estudio de la situación ambiental actual de la bahía de Cárdenas y sus áreas de influencia. Matanzas. GEOCUBA.

72. Kaitala, V. Y Ponjola, M. (1988). Optimal recovery of shared resource stock: a differential game model with efficient memory equilibria. *Nat. Res. Model* 3:91-119.
73. Kaufmann, A. Y Gil A.J. (1990). *Las matemáticas del azar y de la incertidumbre. Elementos básicos para su aplicación.* Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. España.
74. Keynes, J.M. (1936). *General Theory of employment. Interest and Money.* Harcourt Brace. London.UK.
75. Klauer, B., Drecherler, M., Messer, F. (2002). Multicriteria analysis under uncertainty with IANUS-method and empirical results. Discussion papers. Centre for Environmental Research. Germany.
76. Klein, L.R. (1971). Forecasting and policy evaluation using large scale econometrics models: The state of the art. Pag. 133-177 en M.D. Intriligator. Ed. *Frontier of Quantitative Economics.* North-Holland. Publ. Amsterdam, The Netherlands.
77. Kolstad, D. (2000). *Environmental Economics.* Oxford University Press, Inc. New York. U.S.A.
78. León, Tamayo (2002). Ola tóxica mató los peces del Almendares. *Juventud Rebelde*, abril 18, :6.
79. Lester R. Brown, (2001). *Eco-Economy: Building an Economy for the Earth.* W. W. Norton & Co., NY. Earth Policy Institute.
80. Libro electrónico.(1999). *Ciencias de la Tierra y del medio ambiente.* Disponible en: <http://www.ceit.es/Asignaturas/Ecología/Hipertexto/IlCagu/140MARCO.htm>.
81. Lipton Douglas W., Wellman Katherine (1995). *Economic valuation of natural resources. A Handbook for Coastal Resource Policymakers.* NOAA Coastal Ocean Program.
82. Llanes Regueiro, Juan (1999). *Políticas económicas ambientales.* Editorial de Ciencias Sociales. La Habana.
83. López Bonillo, Diego (1997). *El medio ambiente.* España. Ediciones Cátedra de Geografía Menor.
84. López Pardo, Gustavo. (1998). *Turismo y medio ambiente.* Disponible en: <http://www.planeta.com>.
85. Lucas, R.F. (1975). An equilibrium model of the business cycle. *Journal of Political Economy* .83:13-45.

86. Maler, K.G. (1974). Environmental Economics: A theoretical Inquiry. Oxford Blackwell.
87. Marrero Marrero, Mercedes (2002). Evaluación del efecto socioeconómico del impacto de la contaminación del agua potable sobre la salud humana. un caso de estudio. Tesis doctoral.
88. Martínez Alier , Joan. (1999). Introducción a la Economía Ecológica. España. Rubes Editorial. SL.
89. Martínez Alier, Joan.(1995). Curso Básico de Economía Ecológica Publicado por la Oficina Regional para América Latina y el Caribe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México.
90. Mederos, R. et. al., (1990). Estudio de la Contaminación en la Zona de Varadero-Cárdenas. Informe Final del Tema. Proyecto Ramal. Descontaminación Bahías de Cuba. Instituto de Investigaciones del Transporte IIT, Cuba. 39 p.
91. Metcalf y Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización. Tercera edición. España. Ediciones MacGrall-Hill.
92. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). 2002. Estrategia municipal ambiental. Cárdenas. CITMA Municipal.
93. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). 1999. Informe de la situación ambiental de las bahías de Matanzas y Cárdenas. Delegación territorial del CITMA en Matanzas.
94. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). 1998. Principales documentos normativos como apoyo al trabajo de los especialistas municipales. La Habana. Delegación del CITMA.
95. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). 1999. Situación ambiental cubana. La Habana. Ediciones CIGEA.
96. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). 1997. Estrategia provincial ambiental. Delegación territorial del CITMA en Matanzas.
97. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). 1997. Estrategia nacional ambiental. Ciudad de La Habana(CITMA).
98. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) 1997. Taller Medio Ambiente y Desarrollo. Consulta Nacional Rio + 5. La Habana. Cuba.
99. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) 2000. Decreto Ley de las contravenciones en materia de medio ambiente. Edición Dirección de Política Ambiental. Cuba.

100. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).2002. Situación ambiental cubana 2001. La Habana. Ediciones CIGEA.
101. Ministerio de la Industria Pesquera (MIP).(1989). Calendario de medidas para la protección de los recursos pesqueros marinos y de la acuicultura. La Habana. Edita la Dirección de Regulación Pesquera.
102. Munda, Guiseppe., Martínez Alier, J. (1997). Environmental Policy Under Conditions of Complexity. European Environmental Agency.
103. Munda G. (1997) Teoría de Evaluación Multicriterio: Una breve perspectiva general. Bellaterra. España.
104. Munda, G. (2004). Métodos y Procesos Multicriterio para la Evaluación Social de las Políticas Públicas. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol.1: 31-45
105. G. Munda, G. Gamboa, D. Russi, E. Garmendia (2003) Social Multi-Criteria Evaluation of Renewable Energy Sources: Two Real World Catalan Examples. Report for the research project "Development and Application of a Multicriteria Decision Analysis softwareTool for Renewable Energy sources (MCDA-RES)", Contract NNE5- 2001-273.
106. Munda G. Multiple Criteria Decision Analysis and Sustainable Development. En J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (eds.) – State of the art of multiple-criteria decision analysis, Kluwer, Dordrecht.
107. Munda G. and Nardo M. (2003). Mathematical modelling of composite indicators for ranking countries. Proceedings of the First OECD/JRC Workshop on Composite Indicators of Country Performance, JRC,Ispra, disponible en: http://webfarm.jrc.cec.eu.int/uasa/events/oecd_12may03/Background/.
108. Naciones Unidas (2002). Los océanos fuentes de vida. Convención de las Naciones Unidas sobre los derechos del mar XX Aniversario (1982-2002). Disponible en <http://www.un.org/spanish/depts/los/>.
109. Naredo, J., M. (1999). La contribución de la ciencia económica al tratamiento de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente. Seminario: Hacia un desarrollo económico y medioambiental sostenible. Cursos de Verano.
110. O'Connor, M.P. (1991). Time, Evolution and the Environment, PhD Dissertation, University of Auckland.
111. Odum, E.P. (1975). Ecology. Holt Saunders. New York.
112. Oñate Martínez,N. Et. Al. (1988). Utilización del método Delphi en la pronosticación, una experiencia inicial (1) Habana. Revista Cuba Economía Planificada Año 3. No4 octubre- diciembre.
113. Ostell, B. (1974). Estadística Aplicada. Editorial Científico-técnica. Cuba.

114. Pearce David W. y Turner R. Kerry (1995). Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Ediciones CELESTE. España.
115. Pearce D.W. (1994). Los límites del análisis costo-beneficio como guía para la política del Medio Ambiente en Aguilera Klink, Federico, Alcántara, Vicente. (compiladores).1994. De la economía ambiental a la Economía Ecológica. Barcelona. Editorial Icaria Fuhén DL. Alianza Editorial.
116. Perrigs, C., Turner K. y Folke, C. (1995). Ecological Economics: The study of Interdependent Economic and Ecological System. The Beijer Institute of Ecological Economics.
117. Reed, W.J. y Echevarría, H. (1990). Modelo para el manejo racional de recursos forestales. Revista del seminario de enseñanza y titulación, 10:17-35.
118. Reed W.J. (1994). Una introducción a la Economía de los Recursos Naturales y su modelización. En Azqueta D. Y Ferreiro A. (compiladores). Análisis económico y gestión de los recursos naturales. Alianza Editorial S.A. España.
119. Reid Walter, Ash N., Bennett E. , Kumar P., Lee M., Lucas N., Simons H. , Thompson V., Zurek M. (2002). Millennium Ecosystem Assessment Methods. Publicado en <http://www.millenniumassessment.org>.
120. Riera, Pere (1994) Manual de Valoración Contingente. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales.
121. Riera, Pere (1993) Rentabilidad social de las infraestructuras: las rondas de Barcelona. Un análisis coste-beneficio (Social Feasibility Study of Infrastructures. A cost-benefit analysis of Barcelona ring roads). Madrid: Cívitas, 171 pp.
122. Robison, J.B. (1991). Modelling the interactions between human natural systems. International Social Journal, 130:629-647.
123. Rodríguez Sarmiento, Juan V. (1998). Contaminación en la cuenca Canimar. Tesis de maestría. Matanzas. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
124. Romero, Carlos. (1994). Economía de los Recursos Ambientales y Naturales Mac Graw Hill / Interamericana de España. SA. Madrid.
125. Romero, Carlos. (1993) Teoría de la decisión multicriterio. Conceptos, técnicas y aplicaciones. Alianza Editorial Madrid.
126. Ruesga, Santos y Durán, Gemma. (1995). Empresa y medio ambiente. Madrid. Ediciones Pirámides S.A.
127. Saar Van Hauwermeiren. (1998). Manual de Economía Ecológica. Instituto de Economía Ecológica. Santiago de Chile.

128. Saaty T. (1995). Decisión making for leaders: The analytic herarchy process for decisión in complex world. RNS Publications. Pittsburg.USA
129. Saaty T. (1980). The analytic Hierarchy Process. McGrawHill.
130. Samuelson, Paul, William, D. (1992). Economía. Decimotercera edición . Mc Graw Hill Interamericana de Mexico SA.
131. Sánchez Pérez, Niurka. (1998). Análisis económico del impacto ambiental de la contaminación hidráulica. Trabajo de Diploma (en opción al título de Licenciatura en Economía). Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
132. Santalla Cuza, Oskar (2001). Comportamiento de la contaminación de las aguas del norte de la provincia de Matanzas. Proyecto Sabana – Camaguey. Ponencia en V Congreso Región I AIDIS.
133. Senslon Irazabal, Gustavo J. (1996). Valoración económica de un ecosistema bosque subtropical: Estudio del caso San Miguel la Palotada Peten, Guatemala. Turialba. Tesis de maestría. Costa Rica. CATIE.
134. Seoanez Calvo, Mariano. (1999). El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
135. Seoanez Calvo, Mariano. (2000). Manual de contaminación marina y restauración del litoral. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
136. Seoanez Calvo, Mariano. (1998). Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa. Segunda edición. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
137. Sommer, M. (2000). Impacto en las costas. Gestión Integrada de la Zona Costera. Disponible en <http://www.freplata.org/simposio/>
138. Sommer, M. (2004). Agonía y reto . Crisis Marina Global. Disponible en http://www.ecoportel.net/contenido/temas_especoales/
139. Tabucanon, Mario T. (1988). Multiple Criteria decision making in industry. Elseiner Science Publishers. Netherlands.
140. Toledo, A. (1998). Economía de la biodiversidad. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México.
141. Triantaphyllou, E. (2002.) Multi-criteria decision making: theory and applications. A Tutorial Prepared for the: 30th International Conference of Computers & Industrial Engineering.
142. Triantaphyllou E. y Mann S. H. (1995) Using the analytic hierarchy process for decision making In engineering applications: some challenges. Publicado en : Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, Vol. 2, No. 1, pp. 35-44, 1995.

143. Weber, P. (1994). La defensa de los océanos. En Informe del World Watch Institute . La situación del mundo. 1994. Fuhem.
144. Windewoxheel Lora, Nestor (1992). Valoración económica parcial de los mangles de la región II de Nicaragua. Tesis de Maestría. CATIE.
145. World Resources Institute (Abril, 2001). Reports warm growing destruction of world's coastal areas. Disponible en <http://www.wri.org/marine>.
146. Wroblewski, J.S. y Hofmam E.E. (1989). U.S. interdisciplinary modeling studies of coastal-offshore exchange processes: pass and future. Prog. Oceanogr. 23:65-99.
147. Zahed T. (1986). The Analytic Hierarchy Process. A survey of the meted with applications. Interfaces, Vol16.
148. Zanazzi J.L. (2003). Anomalías y supervivencia en el Método de toma de decisiones de Saaty. Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología, Vol. I.L. A. Godoy (Editor). Editorial Universitas, Córdoba, Agosto 2003, pp. 148-170.

Anexo # 1

UNIVERSIDAD DE MATANZAS

Evaluación de expertos

Nombre: _____ Edad: _____
 Especialidad: _____ Año de graduado: _____
 Centro de trabajo: _____
 Ocupación: _____ Años de experiencia: _____
 Participación en eventos: _____

Investigaciones realizadas: _____

Para conocer su valoración acerca de la problemática analizada, es necesario que marque con una (X) en la casilla que corresponda a su grado de conocimiento sobre el tema. El valor más alto indica mayor grado de conocimiento.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | | | | | | | | | |

| Fuente de argumentación | Grado de influencia de cada una de las fuentes | | |
|--|--|--------------|-------------|
| | A (alto) | M (medio) | B (bajo) |
| 1. Análisis teóricos realizadas por Ud. | | | |
| 2. Su experiencia obtenida | | | |
| 3. Trabajos de autores nacionales | | | |
| 4. Trabajos de autores extranjeros | | | |
| 5. Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero | | | |
| 6. Su intuición | | | |

Anexo # 2

Encuesta realizada a la población de Cárdenas.

La Universidad de Matanzas está realizando una investigación con vistas a estimar los beneficios por la recuperación de las playas del litoral de la ciudad de Cárdenas. Agradeceríamos su cooperación al contestar las siguientes preguntas:

1. Si se le pidiera calificar del 1 al 5 la importancia que tienen las actividades de sol y playa en la utilización de su tiempo libre, ¿Qué calificación pondría?

- 5. Valiosa _____
- 4. Muy importante _____
- 3. Importante _____
- 2. Poco importante _____
- 1. No es importante _____

2. Si se le pidiera calificar del 1 al 5 la importancia de la calidad del agua de la playa para el desarrollo de las actividades recreativas en las playas del litoral de la ciudad de Cárdenas ¿Qué calificación pondría?

- 5. Valiosa _____
- 4. Muy importante _____
- 3. Importante _____
- 2. Poco importante _____
- 1. No es importante _____

3. Ordene según su preferencia, utilizando la escala propuesta las siguientes actividades de recreación asociadas con la playa:

- | | |
|---|-----------------------------|
| _____ Baño de mar | _____ Escala: |
| _____ Tomar el sol | 5: Extremadamente Preferido |
| _____ Pescar | 4: Muy Preferido |
| _____ Alquiler de botes y otros implementos para la recreación acuática | 3: Preferido |
| | 2: Indiferente |
| | 1: No me gusta |

4. En la actualidad las playas del litoral de la ciudad de Cárdenas no poseen las características adecuadas para el desempeño de actividades de recreo, tomando en consideración este planteamiento, ¿estaría dispuesto a pagar mensualmente \$_____ (moneda nacional) durante _____ años para contribuir a financiar los costos de recuperación de las playas?

5. Para los que responden con 0 en la pregunta anterior, ¿cuáles son los motivos para no estar dispuesto a pagar?

- _____ No le interesa
- _____ Razones económicas
- _____ El gobierno debería asumir
- _____ Otros

6. Edad: _____ 7. Sexo: _____

8. Estudios: Básico _____ Superiores _____ Postgrado _____

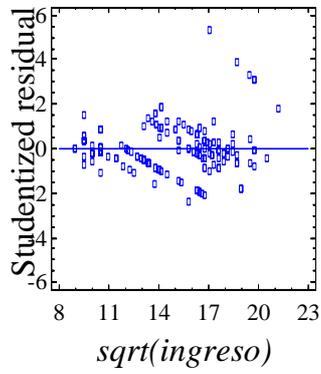
9. Ingreso mensual: \$ _____

10 Consejo Popular donde reside: _____

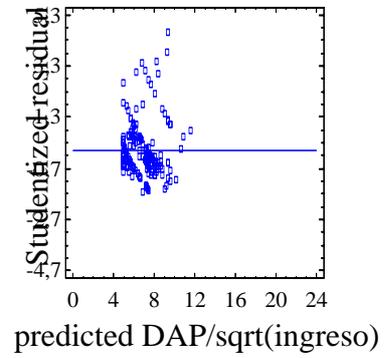
Anexo # 3

Gráficos de los residuos para el modelo transformado.

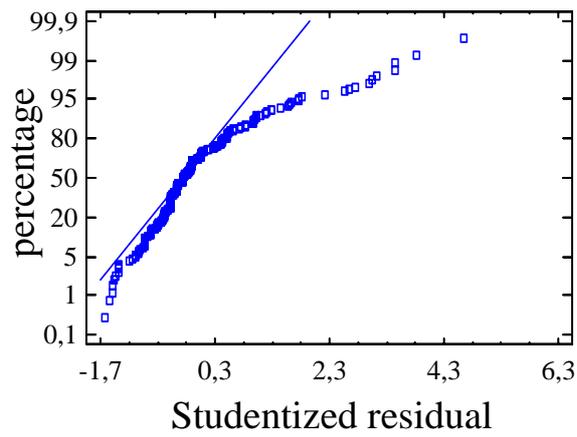
Residual Plot



Residual Plot

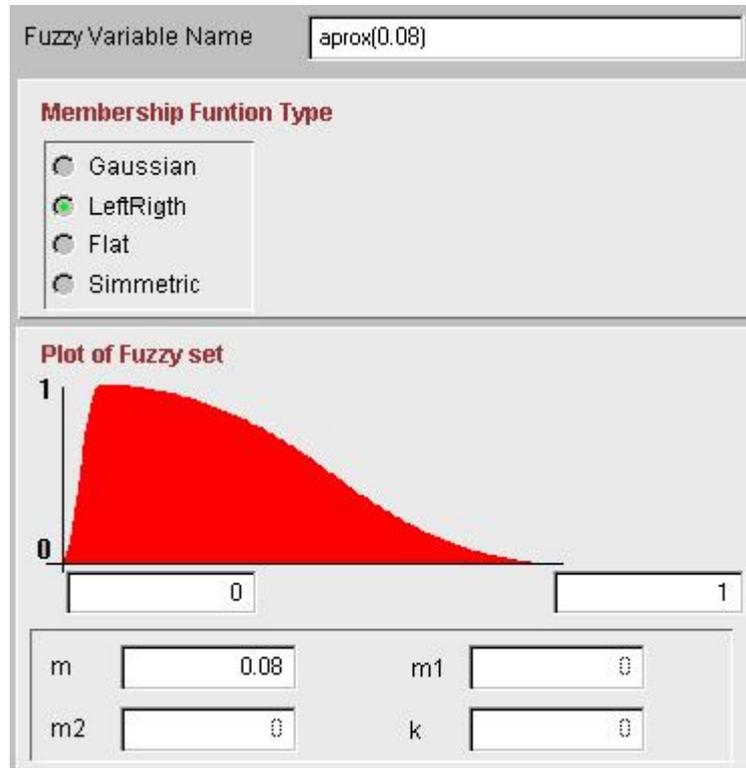


Normal Probability Plot for $\text{DAP}/\sqrt{\text{ingreso}}$



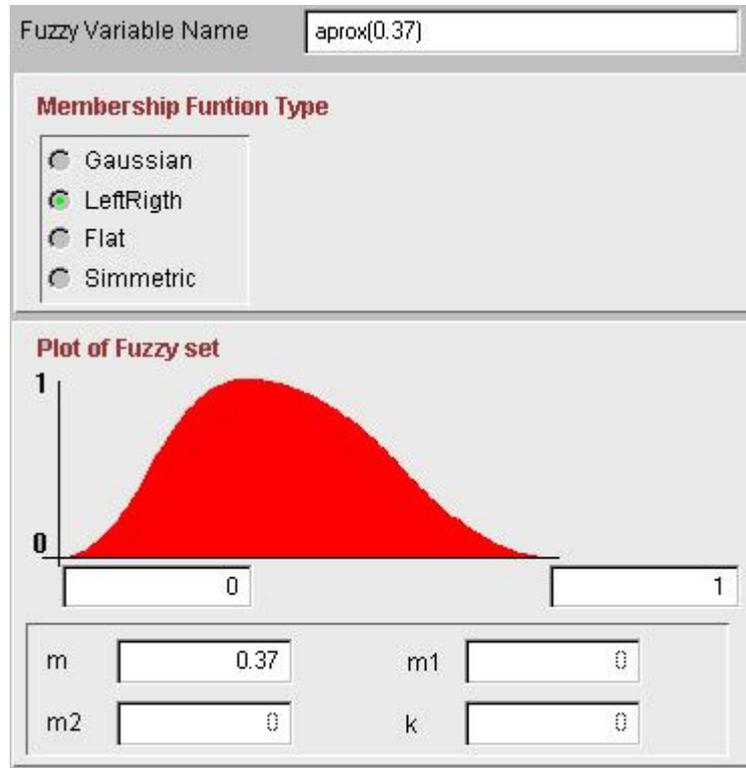
Anexo # 4

Función de pertenencia del número borroso que mide la alternativa A_1 según el criterio incidencia de la biodiversidad



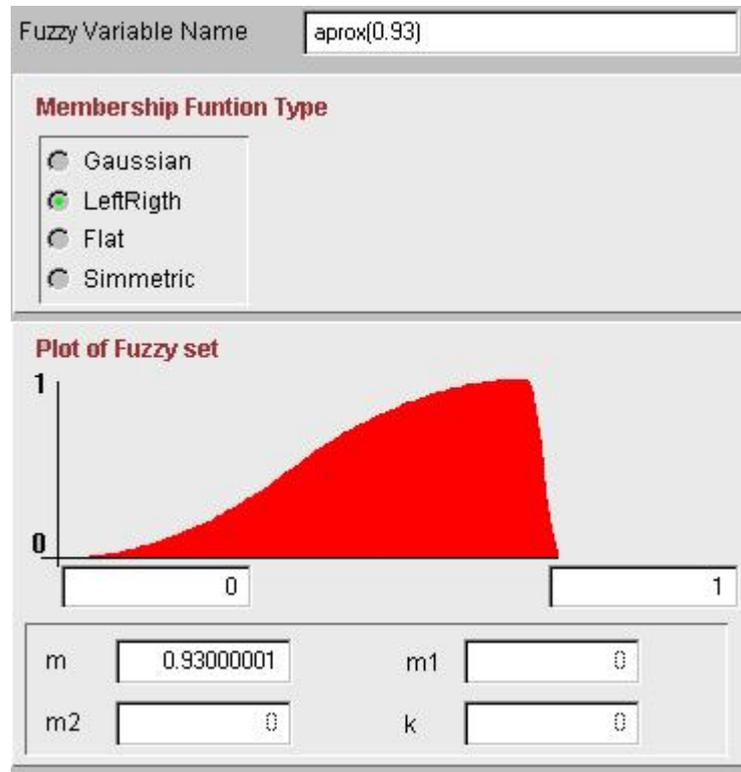
Anexo # 5

Función de pertenencia del número borroso que mide la alternativa A_2 según el criterio incidencia de la biodiversidad



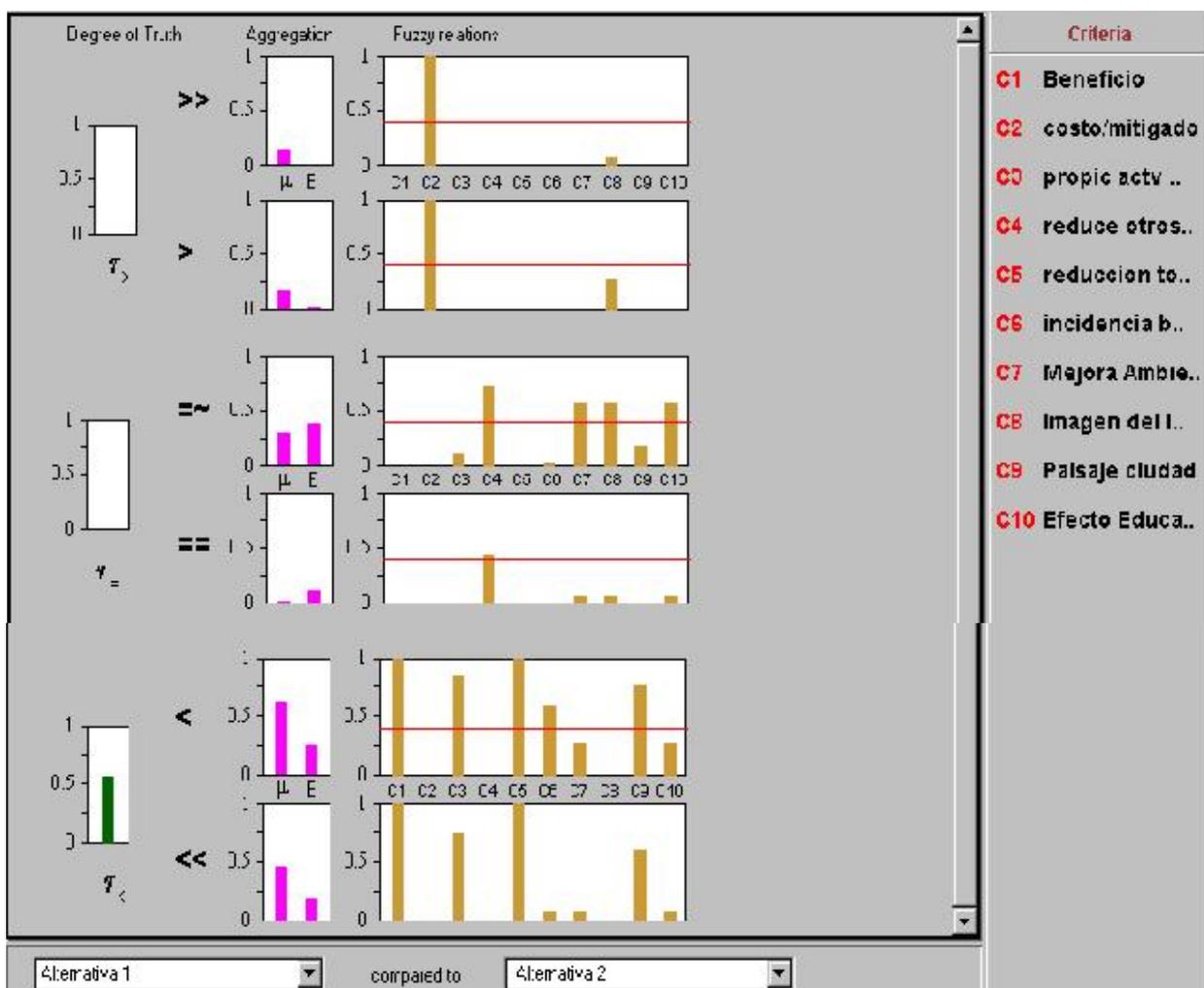
Anexo # 6

Función de pertenencia del número borroso que mide la alternativa A_3 según el criterio incidencia de la biodiversidad



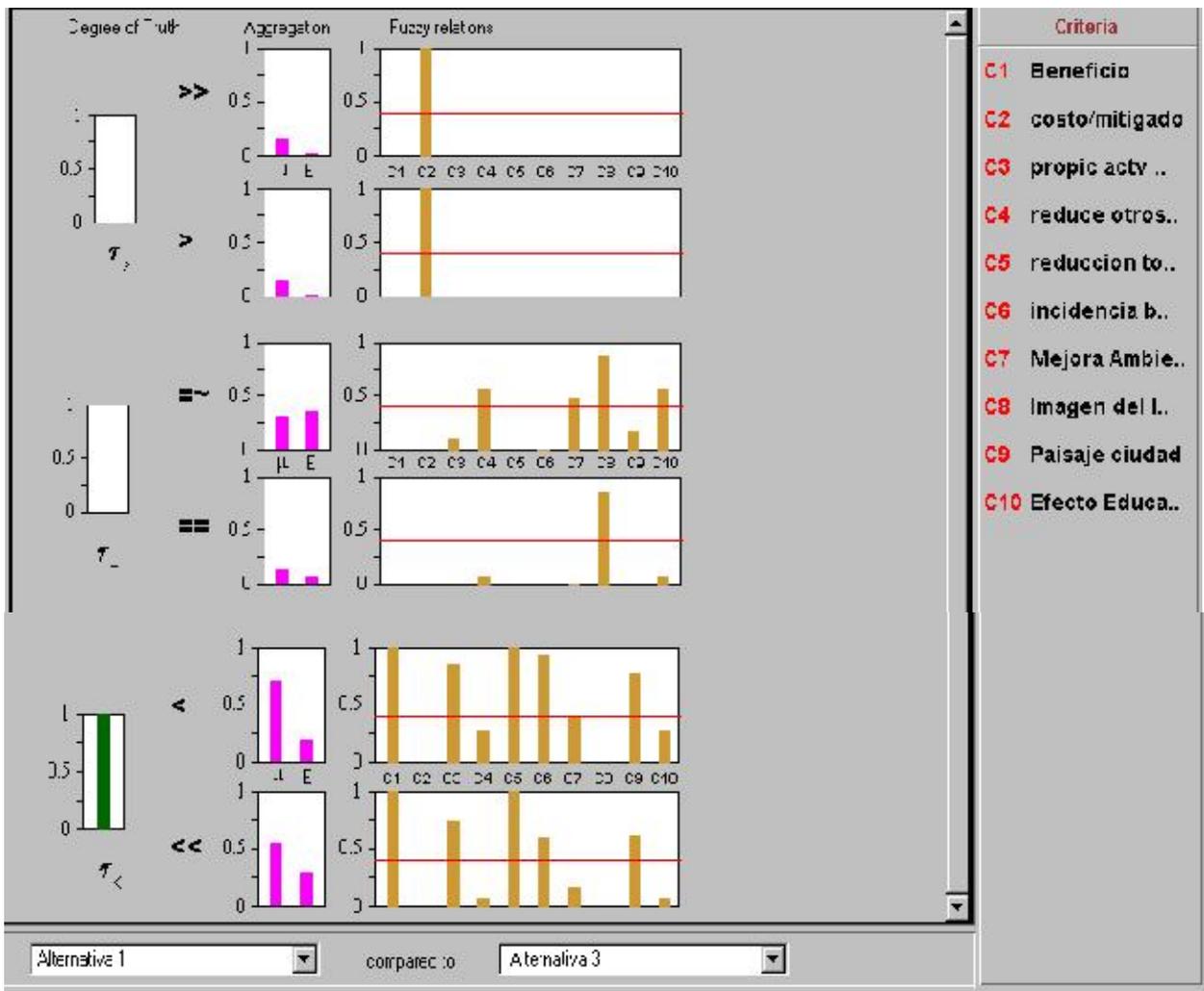
Anexo # 7

Comparación de la Alternativa 1 con la Alternativa 2



Anexo # 8

Comparación de la Alternativa 1 con la Alternativa 3



Anexo # 9

Comparación de la Alternativa 2 con la Alternativa 3

