

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN

MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS



**"Automatización de la Fase de Diagnóstico a través de un Sistema de
Información Geográfica para un Modelo de Ordenamiento Ecológico. Caso de
Estudio: Golfo de California".**

TESIS

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

JUAN CARLOS RAMÍREZ ACEVEDO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. MAYO DEL 2007.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN

MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

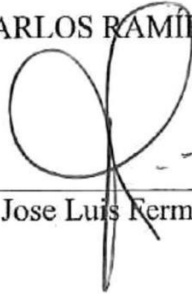
“Automatización de la Fase de Diagnóstico a través de un Sistema de Información Geográfica para un Modelo de Ordenamiento Ecológico. Caso de Estudio: Golfo de California”.

TESIS

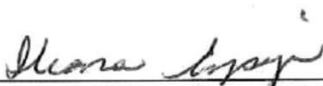
**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA

JUAN CARLOS RAMÍREZ ACEVEDO



Dr. Jose Luis Fermán Almada



Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal



Dr. Hugo Riemann González



MC. Juan Manuel Macías Ramírez

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. MAYO DEL 2007

RESUMEN

El Golfo de California representa a nivel mundial una región única por la riqueza e importancia de sus recursos naturales. Sin embargo posee una problemática asociada a su crecimiento poblacional y sus actividades económicas reflejada en la sobreexplotación, el deterioro y degradación del medio ambiente. Los Ordenamientos Ecológicos del Territorio (OET) son instrumentos políticos con características multidisciplinarias, participativas y adaptativas creados dentro de la gestión ambiental para regular el uso y aprovechamiento de los recursos naturales a través de programas y modelos de OET. La segunda de sus cuatro fases de desarrollo, el diagnóstico, tiene el objetivo de evaluar los recursos naturales y las actividades sectoriales productivas y así sentar las bases de un desarrollo sustentable y equilibrio ambiental. El uso de indicadores ambientales (o parámetros estadísticos) en esta fase son de utilidad para el análisis, el intercambio de información y la toma de decisiones, ya que resume datos y simplifica su comprensión. Los SIG son una herramienta efectiva para integrar y modelar espacialmente indicadores ambientales en cualquier contexto local-municipal, regional-estatal, global-federal. Su capacidad para el geo-procesamiento de datos espaciales y bases de datos son la base para la simulación de escenarios de planeación ambiental y la definición de modelos de planeación terrestre y/o marina regional. El objetivo de este trabajo es desarrollar una herramienta tecnológica que automatice la fase de diagnóstico de OET útil en procesos participativos y adaptativos de la gestión ambiental y planeación regional.

La herramienta se creó y diseñó con a la paquetería ArcGIS 9[®] y el lenguaje de programación Python[®]. La automatización de los modelos de indicadores se desarrolló en un ambiente gráfico de simulación para su integración total y la evaluación de la aptitud ambiental de cuatro principales sectores en el Golfo de California considerando: i) coberturas de información y ii) ponderación de atributos. Los sectores evaluados fueron: pesca ribereña, pesca industrial, turismo y conservación en base a atributos característicos de cada sector. De igual forma se definieron áreas geográficas de interacción y posibles conflictos entre sectores en función de sus aptitudes sectoriales. Las fuentes de información fueron en su mayoría de tipo oficial con cobertura y distribución regional. Los modelos de indicadores fueron lineales aditivos y los valores resultantes de índices fueron normalizados para fines comparativos a través de métodos estadísticos no paramétricos.

Los resultados obtenidos comprenden distintos modelos de geoprocésamiento para definir la aptitud ambiental de cada sector. Cada uno controla diferentes parámetros ya sea de *coberturas* de información o de *ponderaciones* de atributos ambientales. Como parte de cada modelo se crearon 4 rutinas de programación en lenguaje Python[®] para fines de normalización y ejecución de modelos aditivos matemáticos de aptitud e interacción sectorial. Para la validación, los productos generados fueron comparados con aquellos obtenidos de modo tradicional y las resultantes de ambas versiones fueron muy aproximadas. El tiempo de ejecución total entre ambos métodos se redujo significativamente.

Se desarrolló una herramienta tecnológica pionera que establece un ambiente de simulación dinámico, interactivo, portátil y eficaz en la generación de la fase de diagnóstico de un OET, el cual habilita la creación de diferentes escenarios según las fuentes de información y las ponderaciones que se usen. La utilidad de la herramienta va más allá de su aplicación en los procesos participativos y adaptativos, ya que puede ser potencialmente útil para fines ilustrativos y educativos.

ABSTRACT

The Gulf of California represents a unique region in the world for the richness and importance of its natural resources. However it possesses a set of problems associated with population growth and its economic activities reflected by the over exploitation, deterioration and degradation of the environment. In Mexico the Marine Management Programs are (MMP) policy instruments with multidisciplinary, participative and adaptive characteristics merged with the federal environmental management to regulate the exploitation of the natural resources. To reach this goal, the MMP has to make a diagnostic process to assess the natural resources and the sector productivity activities, and then settle the basis for a sustainable development and environment equilibrium. Using environment indicators for this task help with the analysis, information exchange and making decisions, because summarized data and simplify its comprehension. GIS is a effective tool that integrates and models environment indicators spatially at any context: locally, regionally, and globally. Its geoprocessing capacity of spatial data and databases are the basis for scene simulation of environmental terrestrial or marine planning. This work has an objective, to develop a technological tool that automates the evaluation phase of an MMP supporting the participative and adaptative process of the marine environmental management and regional planning.

The tool was created and designed using the *ArcGIS 9*[®] software and the open source programming code *Python*[®]. The automated indicator models were developed within a graphic simulation ambient fully integrated which evaluate the environment suitable to 4 main sectors of the Gulf of California upon i) information layer income used and ii) weighting assigned to its attributes. These sectors assessed were: craft fishery, industrial fishery, tourism and conservation on basis at the characteristic attributes of each sector. By other hand were defined geographical interaction areas where could be exist possible conflict between sector upon their suitable environmental. The information sources were mainly official with regional cover and distribution. The indicators models developed were additive lineal and its outcomes indexes were normalized to comparative purposes through non parametric methods.

The results include a variety of geoprocessing sub-models which define the environment suitable to each sector. Each one controls either layers data income or environment sector attributes weighting. To get full functionality in the models, they were scripted using 4 routines with *Python*[®] programming code which normalized and executed the environmental additive mathematical models and defined spatial sector interaction to establish possible conflict. For validation purposes the outcomes of this work were compared with those gotten with traditional methods (manual geoprocessing and spreadsheets) and both results were quite approximate. Total execution time between these methods was significantly reduced.

It was developed a pioneer technological tool within a dynamic, interactive, transferable and effective graphic simulation ambient which evaluate suitable environment sector activities and enable sceneries creation depending on the data and weighting data incomes. Tool utility application overhead the participative and adaptive process since it could help on academic and illustrative issues too.

Keywords: *Geographical information system, geoprocessing models, environmental management model, environmental indicators models, Gulf of California.*

5.3.9	<i>Modelos de Interacción Sectorial</i>	79
5.3.10	<i>Herramientas programadas / personalizadas</i>	82
5.4	VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS Y AUTOMATIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO.	82
6.	DISCUSIÓN	86
6.1	DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE AUTOMATIZACIÓN	86
6.2	FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO CON RELACIÓN A LOS ELEMENTOS ADAPTATIVO Y PARTICIPATIVO DEL PROCESO DE ORDENAMIENTO.....	88
6.3	VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DISEÑADA.	89
7.	CONCLUSIONES	91
8.	REFERENCIAS	93

Lista de Figuras

Figura 3.1 Área de estudio para el Modelo de Ordenamiento Ecológico.	15
Figura 4.1 Modelos teórico, analítico y de simulación aplicados en la generación del Modelo de Ordenamiento Ecológico de esta tesis.	22
Figura 4.2. Proceso de zonificación: superposición temática jerarquizada para la generación de unidades marinas	28
Figura 4.3 Unidades marinas producto de la zonificación.	31
Figura 4.4. Unidades marinas costeras sujetas a influencia terrestre por UIT's.....	34
Figura 4.6. Elementos de un modelo simple de geoprocésamiento.	46
Figura 4.7 Tipos de geoprocésos empleados para la generación de información geográfica. ...	47
Figura 4.8. Creación de modelos de geoprocésamiento (1 y 2) y ejemplo de un modelo (3) dentro de la interfase <i>ModelBuilder®</i> de <i>ArcGis®</i>	48
Figura 5.1. Esquema general del desarrollo del Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino aplicado al Golfo de California.	54
Figura 5.2 Filtrado de los rubros de información básica para la conformación de las bases de datos usadas para la evaluación de aptitud sectorial.	56
Figura 5.3. Ejemplo de una rutina de programación en lenguaje <i>Python®</i> para normalización de valores en las bases de datos de coberturas de información.	57
Figura 5.4 Ejemplo de la plantilla de impresión ilustrando diferentes versiones de mapas de aptitud del sector pesca ribereña a pequeña escala.....	58
Figura 5.5. Estructura general de los archivos de coberturas de información del Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino.	60
Figura 5.6. Estructura de los grupos de información en el SIG del Modelo de Ordenamiento Ecológico.	61
Figura 5.7 Caja de herramientas en <i>ArcTools</i> y tipos de modelos desarrollados para el control de pesos, coberturas e interacciones entre sectores.....	66
Figura.5.8 Modelo Base de Aptitud de Pesca Ribereña y descripción de los principales geoprocésos.	69
Figura 5.9 Modelo Base de Aptitud de Pesca Industrial y descripción de los principales geoprocésos.	72
Figura 5.10 Modelo Base de Aptitud de Conservación y descripción de los principales geoprocésos.	73
Figura 5.11 Modelo Base de Aptitud de Turismo y descripción de los principales geoprocésos.	74
Figura 5.12 Modelos de control de Coberturas para aptitudes sectoriales.....	76
Figura 5.13 Modelos de control de Ponderaciones para aptitudes sectoriales	78

Figura 5.14. Modelos de Interacciones para aptitudes sectoriales	81
Figura 5.15. Aptitudes Pesca Ribereña (OEMGC – a) y presente trabajo – b)).	84
Figura 5.16. Aptitudes Pesca Industrial (OEMGC –a) y presente trabajo – b)).	84
Figura 5.17. Aptitudes de Conservación (OEMGC – a) y presente trabajo – b)).	85
Figura 5.18. Aptitudes de Turismo (OEMGC – a) y presente trabajo – b)).	85

Lista de Cuadros

Cuadro 4.I. Sistema de referencia cartográfico del MOEM para el Golfo de California. (Basado en la CONABIO, 2002)	26
Cuadro. 4. II. Criterios de zonificación para el ambiente marino-costero.	29
Cuadro 4. III. Criterios de zonificación para el ambiente marino-oceánico.....	29
Cuadro 4.IV. Sistema de clasificación para los ambientes marino-oceánico y marino-costero para la zonificación del Ordenamiento Ecológico Marino de Golfo de California.	30
Cuadro 4.V. Características de las Unidades de Influencia Terrestre (UIT).....	33

Lista de Acrónimos

GC.- Golfo de California
IACON.- Índice de Aptitud de Conservación
IAPER.- Índice de Aptitud de Pesca Ribereña
IAPIN.- Índice de Aptitud de Pesca Industrial
IATUR.- Índice de Aptitud de Turismo
MOE.- Modelo de Ordenamiento Ecológico
MOEM.- Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino
MOEMGC.- Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California
OE.- Ordenamiento Ecológico
OEM.- Ordenamiento Ecológico Marino
OEMGC.- Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California
OET.- Ordenamiento Ecológico del Territorio
POE.- Programa de Ordenamiento Ecológico
SIG.- Sistema de Información Geográfica
UAM.- Unidad Ambiental Marina
UIT.- Unidad de Influencia Terrestre

INTRODUCCIÓN

1.1 ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

El Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) es un instrumento político de utilidad pública con la finalidad de regular o inducir el uso de suelo y las actividades productivas para lograr la protección del medio ambiente, su preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos (DOF-LGEEPA, 1988). Su objetivo principal es el de maximizar el consenso en el uso de los recursos naturales y la oferta ambiental, y minimizar los conflictos entre los diferentes sectores, económicos sociales, ambientales facilitando así la toma de decisiones.

El ordenamiento ecológico involucra tres importantes elementos durante su desarrollo: i) un proceso *participativo* a través del cual representantes de distintos sectores, grupos sociales, autoridades y público en general, establecen consensuadamente las bases para los lineamientos ecológicos que conforman al programa de ordenamiento; ii) un proceso *interdisciplinario* que se basa en el uso de la mejor información técnica y científica, el cual implica la integración e involucramiento de diversas fuentes y disciplinas del conocimiento natural, social, político y económico; y iii) un proceso de tipo *adaptativo* que permita actualizar y adecuar técnicamente y de manera continua, en forma y contenido, un programa de ordenamiento ecológico del territorio (Fermán-Almada, 2007).

Asimismo, los programas de ordenamiento ecológico del territorio deben determinar dos aspectos fundamentales: i) la zonificación del territorio con base en un diagnóstico de condiciones de los recursos naturales, actividades productivas y de asentamientos humanos existentes; y ii) los lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, conservación, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como la localización de las actividades productivas y los asentamientos humanos.

Los programas de ordenamiento ecológico (POE) son los medios a través de los cuales el OET opera, pueden ser de carácter *general del territorio, regional, marino y local*. El POE *general* es de tipo rector y de observancia obligatoria en todo el territorio nacional; vincula acciones y programas de la administración pública federal relativas al medio ambiente de acuerdo a la ley de planeación. El POE de clase *regional* puede abarcar uno o más territorios de una entidad federativa siendo los estados y municipios respectivos los que formulan dicho programa de ordenamiento bajo acuerdos y convenios celebrados por la federación. El POE *marino* establece lineamientos y previsiones para el uso de recursos naturales en zonas federales marinas mexicanas según la ley nacional y los tratados internacionales en los que el país participe. El ordenamiento *local* es expedido por autoridades municipales bajo las consideración de las leyes estatales y en congruencia con los programas generales, regionales y estatales con los cuales el municipio esta facultado para regular los distintos usos de suelo (León et al., 2004).

1.2 ETAPAS DEL OET

En el desarrollo de un OET se llevan a cabo cuatro etapas metodológicas cuya secuencia implica la realización de una caracterización, un diagnóstico, un pronóstico y una propuesta. Estas etapas se encuentran descritas en los artículos 42 al 45 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente en materia de Ordenamiento Ecológico (DOF-SEMARNAT 2003).

La *etapa de caracterización* integra la información de los componentes natural, social y económico, considerando las necesidades y los intereses sectoriales dentro del área de estudio. La definición de estas necesidades e intereses se realiza a través de mecanismos de participación social (talleres sectoriales). El producto final de esta etapa incluye información de tipo geográfica y tabular así como una zonificación del área de estudio, presentada como información medible y con carácter cartográfico (DOF-SEMARNAT, 2003).

La *etapa de diagnóstico* (sobre la cual se enfoca este trabajo) tiene como objetivo central evaluar la situación de los recursos naturales, de la población y de las actividades productivas que ésta realiza (responde a la pregunta: *¿cómo está? e identifica* las causas posibles), con lo cual se determina la factibilidad de un desarrollo sustentable o el equilibrio entre el estado natural y la presión

social y productiva. La tipificación de cada una de las actividades productivas permite definir y caracterizar los sistemas de producción a partir de variables relacionadas con la superficie que ocupan. Asimismo, se contemplan la distribución y la dinámica de la población (espacial y temporal), los aspectos socioeconómicos, la especialización económica y la calidad de vida de las poblaciones, que se condensan como una presión sobre el medio en general (INE-SEMARNAP, 2000).

El uso de indicadores ambientales para la realización del diagnóstico ha sido ampliamente aplicado (OCDE 1993, SEMARNAT 2000, 2004; Espejel, et al. 2004; Espejel et al, en prensa) y es de especial importancia cuando la información es escasa y no puede ser generada rápidamente (Fabbri 1998, Strand 2002). Asimismo es útil para el apoyo en el intercambio de información y la toma de decisiones (, Lindsey *et al.* 1997, Vandermeulen 1998, Kaly *et al.* 1999).

De acuerdo a la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE, 1993), un indicador es un parámetro o valor derivado de información genérica y describe el estado, desempeño o evolución de un fenómeno de interés en un área en específico y conlleva dos funciones básicas: i) reducir el número de mediciones y parámetros requeridos para el análisis de una situación dada y ii) simplificar el proceso de comunicación con el usuario.

Algunas de las principales características con las que se sugiere debe contar un indicador ambiental son:

- que puedan ser representados cartográficamente,
- que estén basados en metodologías sencillas,
- que sean fácilmente obtenidos de fuentes de datos accesibles y confiables,
- que se puedan monitorear periódicamente,
- que permitan establecer tendencias y
- que puedan agregarse para análisis a otras escalas.

La utilización de indicadores ambientales ha sido incorporada dentro de la metodología planteada en el POE, donde tienen por objeto identificar cambios en la calidad de los recursos naturales, la aptitud ambiental o la evolución de los conflictos ambientales y facilitar la comparación de sitios controlados en el corto, mediano y largo plazo.

Con base en lo anterior, el diagnóstico identifica y analiza los conflictos entre sectores, generados por la concurrencia de actividades incompatibles en el área de estudio, mediante el análisis de la aptitud para cada uno de los sectores involucrados en las actividades de aprovechamiento de los recursos naturales y conservación. La relación entre estos elementos (recursos-conflictos) constituye la base para la propuesta de acciones y programas que permitan planificar el

uso de los recursos y revertir procesos de deterioro en el territorio nacional.
(DOF-SEMARNAT, 2000)

La *etapa de pronóstico* examina la evolución de los conflictos sectoriales en el área de estudio, en función del comportamiento futuro de las variables naturales, sociales y económicas que definen la aptitud de cada sector (DOF-SEMARNAT, 2003).

La *etapa de propuesta* tiene por objeto generar un programa de ordenamiento ecológico compuesto por el *modelo de ordenamiento ecológico* (MOE) así como los lineamientos y las estrategias ecológicas asociadas a pequeñas áreas geográficas o unidades de gestión (DOF-SEMARNAT, 2003).

1.3 MODELO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO.

Es la representación en un sistema de información geográfica, de las unidades de gestión ambiental y sus respectivos lineamientos ecológicos (DOF-SEMARNAT, 2003). Dicho modelo se integra en la etapa de propuesta en un proceso de OET con la finalidad de definir espacialmente las áreas geográficas sobre las cuales tendrán efecto o ingerencia legal aquellas disposiciones políticas establecidas al momento de decretarse el ordenamiento.

El MOE, define los lineamientos y estrategias para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos, así como para la regulación de las actividades productivas y las obras que puedan afectar los ecosistemas.

El desarrollo del MOE se inicia desde las primeras etapas de un proceso de ordenamiento. En la fase de caracterización, con la recopilación, depuración y estandarización de toda la información con carácter geográfico dentro de un ambiente computarizado a través de herramientas como lo son los sistemas de información geográfica. Estas herramientas representan el motor de acción para tareas asociadas con la fase de diagnóstico, en la que figuran gran cantidad de operaciones de tipo espacial relacionadas a la evaluación de atributos ambientales, que difícilmente podrían llevarse a cabo por otros medios.

El MOE, desde una perspectiva técnica, representa una de las partes modulares de un POET ya que, a través del SIG, establece el vínculo entre las áreas geográficas (las cuales son una expresión cartográfica de la evaluación de atributos ambientales e intereses y actividades antropogénicas) y las estrategias ecológicas que corresponden a cada una de estas áreas. Adicionalmente, el SIG es el principal instrumento que permite la interacción entre los tres procesos (participativo, interdisciplinario, adaptativo) antes mencionados para la operación del OET.

1.4 APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LOS ORDENAMIENTOS ECOLÓGICOS DEL TERRITORIO.

Un SIG es un conjunto de hardware, software y datos geográficos que interactúan para capturar, manejar, analizar y desplegar todo tipo de información geográficamente referida (ESRI 2002, Maguire *et al.* 1991a, 1991b). El concepto fundamental sobre el cual gira el funcionamiento de un SIG se basa en la asociación de un rasgo u objeto geográfico (área, línea o punto) a una base de datos de atributos o propiedades de dicho objeto. Esta capacidad de los SIG hace posible la alimentación de bases de datos con un número prácticamente ilimitado de registros (u objetos) y campos de información (o atributos) de cada registro.

La asociación de un SIG a información tabular geográficamente referida, le brinda todas las capacidades de procesamiento de datos y análisis de información necesarios para la elaboración de modelos matemáticos y la obtención de resultados en términos medibles y cartográficos. Adicionalmente, un SIG cuenta con la peculiaridad de realizar procesos analíticos espaciales en forma iterativa con el fin obtener diferentes escenarios resultantes de diferentes fuentes de información, lo cual incrementa el potencial interpretativo de los resultados.

En términos generales, un modelo puede ser concebido como una representación de la realidad, el cual en términos simplificados y manejables ofrece una visión más del mundo real. Dicha representación regularmente es parcial y sólo incluye aquellos elementos considerados como de mayor importancia, ya que mientras mayor sea el número de componentes en un modelo, mayor será su complejidad (Sheik y Franklin 2000).

Los modelos visualizados desde la perspectiva de un SIG permiten ejecutar flujos de trabajo, modificarlos y repetir múltiples procesos sobre elementos geográficos o geoprocесamientos. El geoprocесamiento es una de las funciones básicas de un SIG que crea nueva información a través de operaciones y análisis sobre datos ya existentes. Un proceso de este tipo consiste genéricamente de un elemento de entrada, un análisis bajo ciertos parámetros y un elemento de salida. El geoprocесamiento en un SIG, comúnmente es representado por modelos en forma de diagramas de flujos que ayudan a controlar y automatizar tareas de carácter geográfico. Los modelos más complejos implican una serie de procesos interconectados secuencialmente entre sí para la obtención de un producto final (McCoy 2004).

El tipo de modelos creados dentro de un SIG permiten la realización de tres importantes tareas dentro del desarrollo de un ordenamiento durante la fase de diagnóstico:

- 1) Automatizar los procesos de ejecución secuencial de tareas básicas de geoprocésamiento sobre información geográfica existente;
- 2) Modificar rápidamente los parámetros de cada proceso en el modelo, permitiendo la experimentación y generación de diferentes escenarios, y;
- 3) Diseñar, construir y adaptar diferentes tipos de modelos en términos de diagramas de flujo para la fácil comprensión de tomadores de decisión o público en general.

En las últimas décadas la aplicación de los SIG a la gestión y planeación ambiental ha sido ampliamente aceptada. Los SIG son, hoy en día un instrumento efectivo para la evaluación y modelación espacial en cualquier contexto local (municipal), regional (intermunicipal o estatal) y global (federal). Su versatilidad provee un ambiente flexible para el almacenamiento, análisis, actualización y despliegue datos digitales y bases de datos (Wear y Bolstad 1998; Briassoulis 2000,2001; Weng 2002 en García-Gastelum 2006). Todas estas capacidades integradas dentro de un SIG son la base para la simulación de escenarios de planeación ambiental (Andrienkoa *et al.* 2003, Arredondo 2006; García-Gastelum 2006) y son de gran utilidad en la definición de modelos de planeación terrestre y/o marina regional.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas asociadas a un ordenamiento ecológico, es la falta de instrumentos que permitan la adecuada interacción y relación entre los siguientes factores de la gestión ambiental;

*Información ↔ Conflictos ↔ Participación Pública ↔ Toma de
decisiones ↔ Ordenamiento ↔ Monitoreo*

Todos ellos, íntimamente vinculados durante la formulación e implementación de un programa de ordenamiento. Sin embargo, en la práctica operan de manera aislada y esporádicamente coordinados. De ahí, la necesidad de desarrollar una herramienta técnica eficaz en el apoyo y análisis de la toma de decisiones que de modo integral permita la identificación de los problemas, la formulación de las lineamientos y estrategias, la implementación de las políticas y acciones, así como su evaluación y monitoreo; cada una de ellas con necesidades y usos de información diferentes (Winograd *et al.* 1995).

El Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (OEMGC) fue el primer ordenamiento ecológico marino del país. El proceso se llevó a cabo de manera tradicional; es decir se trabajó con *ArcMap*® y hojas de cálculo por separado y manualmente. El proceso tradicional implica la generación de muchos archivos, de versiones diversas donde además hay varios usuarios que los manipulan. Esto puede generar imprecisiones y confusiones durante el proceso. Por lo tanto, el presente trabajo propone una herramienta pionera de

desarrollo tecnológico a través del SIG que asista desde el establecimiento de las bases y requerimientos técnico-legales para la generación de un MOE hasta la definición de aptitudes sectoriales e identificación “espacial” de conflictos intersectoriales como parte vertebral de la fase de diagnóstico, y como fundamento para el desarrollo de las fases finales de pronóstico y propuesta.

El instrumento técnico que aquí se diseña, se aplica con los datos empleados en el estudio de caso, cuyas características son únicas en términos biológicos y económicos y son de gran importancia desde niveles locales hasta internacionales. Asimismo, los procesos de gestión que se han derivado para su aprovechamiento y conservación en los últimos años, hacen del GC un ejemplo adecuado para la aplicación de nuevas soluciones y herramientas que brinden el apoyo técnico necesario en cada una de las fases de desarrollo del OE. Además de coadyuvar en los aspectos interdisciplinarios, adaptativos y participativos que en este preciso caso, introdujo el OEM.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERALES

Desarrollar una herramienta tecnológica útil para la instrumentación de los procesos participativos, interdisciplinarios y adaptativos de la gestión ambiental y planeación regional a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y aplicar la herramienta utilizando el esquema metodológico y los datos generados en la fase de diagnóstico del Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (MOEMGC).

2.2 PARTICULARES

1. Definir la composición, estructura y función de la herramienta de análisis y automatización.
2. Automatizar los modelos de índices de aptitud sectorial generados tradicionalmente en la fase de diagnóstico del MOE.
3. Establecer un ambiente dinámico en la definición de aptitudes sectoriales a través del control sobre los atributos ambientales y sus ponderaciones como insumos de los modelos de aptitud así como la expresión espacial de los conflictos ambientales entre sectores.
4. Contrastar los resultados del método tradicional usado en el MOEMGC, con el proceso automatizado (herramienta diseñada).

3. CASO DE ESTUDIO: GOLFO DE CALIFORNIA

El caso de estudio seleccionado para el desarrollo de este trabajo, corresponde a la del Ordenamiento Ecológico Marino del GC, la cual está conformado por un mar semi-cerrado, circundado por la desembocadura del Río Colorado al norte, la península de Baja California al oeste, la costa de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit al este, y hacia el sur el límite se encuentra definido por una línea recta que va desde Cabo San Lucas en BCS hasta la desembocadura del Río Ameca en Nayarit. El área de estudio ($247\,000\text{ km}^2$ con más de 3000 km de costa aprox.) se encuentra enmarcada en las latitudes extremas de $20^{\circ}46'$ y los $31^{\circ}52'$ Norte, y sus longitudes, los $105^{\circ}11'$ y los $114^{\circ}54'$ Oeste (SEMARNAT, 2006) (Figura 3.1).

El Golfo de California a nivel mundial representa una de las regiones más productivas y ricas en diversidad biológica, cuyas islas y áreas naturales protegidas representan 1 de los 3 hábitats naturales decretadas como Patrimonios de la Humanidad en México (UNESCO 2005). Es considerado como un ambiente tanto terrestre como marino único, que acoge a más de 5900 especies mayormente invertebrados y en menor proporción peces, aves, reptiles y un gran porcentaje de especies de mamíferos marinos del planeta.

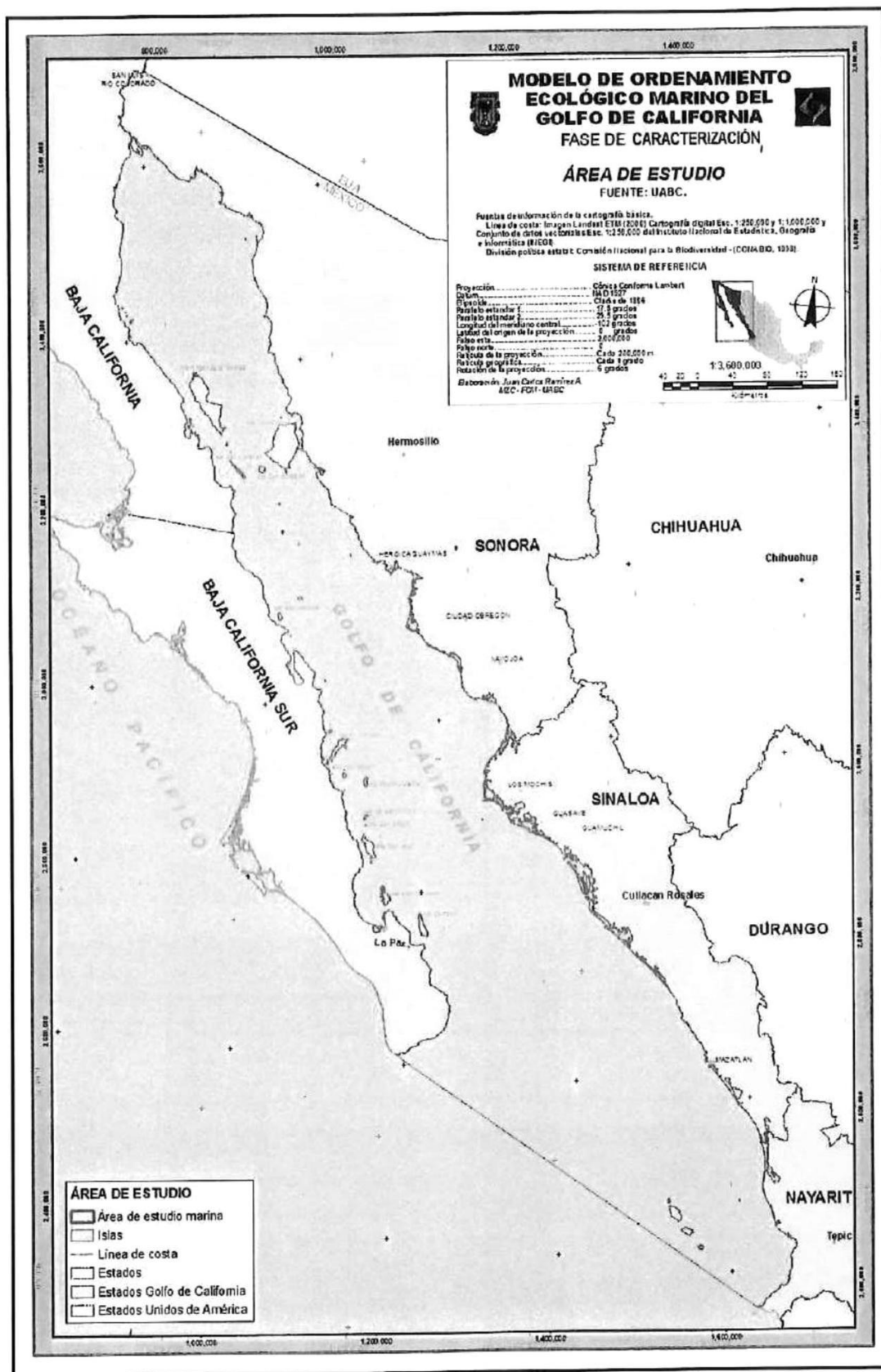


Figura 3.1 Área de estudio para el Modelo de Ordenamiento Ecológico.

A su vez, esa riqueza biológica se manifiesta en una importante y frágil biodiversidad ya que cuenta con 695 especies de plantas vasculares reportadas, 891 especies de peces (90 % endémicas), alberga al 39 % de las especies de mamíferos marinos en el mundo y una tercera parte de las de cetáceos (BRCC, 2006). Respecto a macro-invertebrados se han reportado 4877 especies y 1115 de vertebrados de las cuales un 17 % son endémicas (Brusca 1980, Brusca 2004, Brusca y Hendrickx, 2004; Sala *et al.* 2002). Todo esto sin enfatizar en el 30 % de la flora endémica en su ambiente terrestre, ni las cerca de 900 islas e islote de relevancia ecológica y económica (Bourillón 1988, Castrezana 1998, SEMARNAP 2000, SEMARNAT 2002,) o los servicios ambientales que ofrece en recursos naturales, riqueza genética, paisajística y productividad orgánica primaria.

Recientemente la problemática ambiental en torno al GC se ha venido incrementando junto con el crecimiento de poblacional y de las actividades económicas en la región, el deterioro ambiental que esta situación acarrea se refleja en; el mal uso de los recursos, concentración de asentamientos humanos irregulares y la contaminación asociada a estos, la sobreexplotación del aprovechamiento de especies, la pesca furtiva y captura incidental de especies con estatus de protección, el represamiento de importantes ríos o revestimiento de sus cauces, la salinización y la falta de recarga de los acuíferos, la falta de claridad en las competencias de instituciones gubernamentales, la ineficiencia en la medidas y vigilancia de planes y programas de manejo así como la falta

de aplicación de las leyes, sin dejar de mencionar la falta de instrumentos e información adecuada para la toma de decisiones, entre mucho otros mas. Todos ellos generando conflictos derivados por actividades incompatibles o intereses traslapados entre sectores, y organizaciones de toda índole.

La tradicional importancia del Golfo de California en términos ecológicos y económicos lo ha convertido en un foco de atención de niveles locales hasta internacionales. Este fuerte interés en la riqueza y diversidad de sus recursos lo ha sometido a una fuerte dinámica de aprovechamiento, desarrollo y conservación de estos recursos en las recientes décadas, por parte de diversos grupos sectoriales, organizaciones, instituciones, dependencias gubernamentales y actores en general. Junto con esta agitada dinámica de uso en el GC se han creado iniciativas de gestión ambiental aisladas y focalizadas en ciertas zonas a lo largo de su litoral, las cuales han venido fracasando o cuyos resultados no han sido imperceptibles para las diversas actividades y sectores productivos en términos de desarrollo económico, mejor calidad de vida y protección de los ecosistemas naturales (Rivera-Arriaga 2004).

Un aspecto importante que cabe resaltar y favorece la compleja problemática del Golfo de California, es que éste mar representa el único con jurisdicción exclusiva de un solo país. Esta situación ubica a México en una posición de ventaja respecto a otras regiones donde la conservación, administración y el aprovechamiento de los recursos así como la compleja problemática en las

zonas costeras tiene que ser llevada a acabo entre varios países, permitiendo así, que en México exista mayor margen de gestión para los actores involucrados en el proceso de ordenamiento y administración de los recursos naturales y actividades socioeconómicas de la región.

Punto importante para la implementación de este trabajo al caso de estudio, es el mencionar el interés por parte de las instituciones gubernamentales competentes en hacer del ordenamiento un proceso más participativo involucrando a los distintos representantes de la sociedad. Para lograr esto, el 5 de junio del 2004, la SEMARNAT promovió la creación de un convenio de coordinación del Ordenamiento Ecológico Marino del GC entre diferentes representantes y funcionarios de gobierno con el fin de promover el desarrollo sustentable del GC (5 de junio del 2004) que establece entre otros compromisos el de conformar un comité de ordenamiento representativo y generar un modelo de ordenamiento ecológico como parte del programa de ordenamiento.

Con este convenio el 9 de julio del 2004 es creado el Comité de Ordenamiento Ecológico Marino del GC, que representa un órgano colegiado cuyo propósito es fomentar la participación genuina de todos los sectores involucrados en la región, integrado por personas, organizaciones e instituciones del sector público, privado y social (SEMARNAT, 2006). Dividido en dos órganos, el ejecutivo y el técnico, el primero es responsable de la toma de decisiones del

POE y el segundo valida los estudios y análisis técnicos para su implementación en el POE y como apoyo al proceso de toma de decisiones.

La creación del Comité de Ordenamiento, constituye el primer esfuerzo oficial en la historia de planificación a nivel regional del GC que intenta establecer un mecanismo de gestión que legitime el Ordenamiento Ecológico Marino del GC y enfrente eficazmente la problemática ambiental existente. En este sentido, la creación de instrumentos técnicos que faciliten el diálogo y la concertación entre los distintos actores, durante los procesos de evaluación y consenso principalmente durante la fase de diagnóstico del ordenamiento, son de crucial importancia para una mejor comprensión de los aspectos técnicos y los resultados obtenidos que constituyen la base del MOEM para la toma de decisiones.

En este apartado no se pretendió hacer una descripción de por si exhaustiva de las características biofísicas y socioeconómicas del Golfo de California, si no resaltar aspectos generales de la región para contextualizar el caso de estudio y justificar la importancia de este trabajo en términos del proceso del OEM para el GC.

4. ESQUEMA METODOLÓGICO

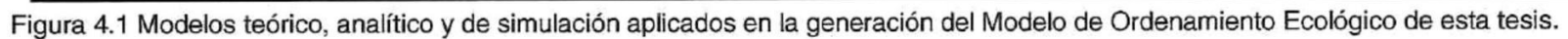
La metodología requerida para la realización de este trabajo involucra la generación e interacción entre tres diferentes tipos de modelos (Figura 4.1). El primero está definido por un modelo teórico global de manejo de recursos con el cual se busca alcanzar los objetivos de un ordenamiento y se define legalmente como MOE.

El segundo modelo es de tipo analítico-matemático e involucra indicadores ambientales, su lógica se basa en una serie de análisis aditivos a través de los cuales son comparados, ponderados y evaluados los diferentes elementos o atributos ambientales que constituyen a cada modelo de indicadores de aptitud sectorial y que conforman el MOE.

Finalmente, el tercero se trata de un modelo de simulación computacional embebido dentro de la paquetería empleada, que involucró la creación de rutinas, operaciones espaciales o geoprosesamientos (procesado de información geográfica) a través de interfaces gráficas y un lenguaje de programación para la integración total de los modelos de aptitud y así obtener los insumos necesarios que definen al MOE.

Es importante mencionar, que parte de la metodología empleada en el presente trabajo toma como referencia al estudio de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California promovido por la SEMARNAT a través de la

UABC, principalmente en cuanto el sistema de clasificación y zonificación, los modelos de indicadores y la definición espacial de conflictos a través de las interacciones sectoriales. Los datos y el esquema metodológico del OEMGC fué usado para los fines de validación de la herramienta de análisis y diagnóstico.



4.1 MATERIALES Y HERRAMIENTAS TÉCNICO-COMPUTACIONALES

El sistema de información geográfico del MOE se realizó dentro del ambiente gráfico de la paquetería *ArcGIS Desktop® Ver. 9.0*, siendo esta la principal herramienta de generación, análisis y procesamiento tanto de datos espaciales como tabulares.

Otra de las herramientas implicadas en el desarrollo del MOE, fue el lenguaje de programación de código abierto (distribución gratuita) dirigido a objetos llamado *Python® Ver. 2.1* para *Windows*, el cual ofrece un fuerte apoyo para su integración con otros lenguajes a varios tipos de paqueterías. Este lenguaje permitió la adaptación y realización de tareas como la normalización (ajuste de una serie de valores a un rango de 0 a 1), y la ejecución matemática en las bases de datos para los modelos de aptitud; labores tradicionalmente realizadas de forma aislada y paralela en hojas de cálculo externas al SIG.

4.2 DATOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Un ordenamiento ecológico no tiene como objetivo la generación de información básica, más bien utiliza la existente, le da un valor agregado al actualizarla y al incorporarla, de manera comparativa, a otras fuentes de información. Por lo tanto, la obtención de la información de insumo para las fases de caracterización y diagnóstico en la creación del MOEM del Golfo de

California, implicó la búsqueda y acopio de todo tipo de datos con carácter geográfico que fuese de utilidad para la región, y que reuniera como mínimo las siguientes características:

- Que fuese, en medida de lo posible, información de tipo oficial,
- Que poseyera referencia geográfica,
- Que fuese lo más reciente y actual posible, y
- Que presentara una distribución espacial de tipo regional a lo largo del Golfo de California.

Respecto a las principales fuentes de información consideradas para la cartografía base del MOEM se encuentran las siguientes:

- Fuente de información de la cartografía básica: Cartografía digital Esc. 1:250,000 y 1:1,000,000 y Conjunto de datos vectoriales Esc. 1:50,000. (Carreteras, aeropuertos) - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).*
- Topografía: Comisión Nacional para el Conocimiento y la Biodiversidad - (CONABIO, 1998).*
- Topografía de México. Esc. 1:250000. Extraído del modelo digital del terreno. INEGI, México.*
- Batimetría: General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO).*
- Puertos y rutas de navegación: fuente propia UABC.*

- f) *Línea de Costa: Imágenes Satelitales Programa EOS, NASA – LandSat TM y ETM*
- g) *Cartas Regionales y de Recalada: Secretaria de Marina (1997, 1999, 2000)*

Respecto a fuentes de información de tipo temático, se revisaron y tomaron en cuenta las bases de datos y los productos cartográficos de:

- a) *La Carta Nacional Pesquera 2005 (SAGARPA 2003, 2004).*
- b) *El Instituto Nacional de Ecología (INE 1993, 2001a, 2001b)*
- c) *La Comisión Nacional para el Conocimiento y la Biodiversidad (CONABIO, 1998).*
- d) *La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).*
- e) *Los ejercicios de ordenamiento costeros ya existentes de la región, así como las primeras fases del ordenamiento marino regional del Golfo de California realizados por SEMARNAT en 1999 y el 2002*
- f) *El proyecto de Micro-regiones de la Escalera Náutica realizado por FONATUR durante el 2002 (REMIRCOM, 2003).*
- g) *Comisión de Estudios para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales (CECARENA).*
- h) *La Coalición para la Conservación del Golfo de California (INE 2001a, 2001b .*
- i) *ONG's - Conservación Internacional (2003), Consultores Internacionales (2000) y otras.*

4.3 ESCALA

La escala de trabajo definida como marco de referencia para las bases de datos y la información actualizada en este estudio de carácter regional, fue de 1:250 000. Sin embargo, para fines prácticos de impresión todos los productos cartográficos fueron diseñados a una escala de 1:3 600 000, lo cual permitió el manejo y visualización de mapas resultantes a pesar del detalle de la escala de trabajo.

4.4 SISTEMA DE REFERENCIA

Con el fin de hacer geográficamente compatible toda la información recabada y actualizada con respecto a un marco estándar cartográfico nacional, el sistema de referencia por el que se optó para la generación de mapas y productos cartográficos fue el definido por la Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO) cuyos parámetros son los siguientes:

Cuadro 4.1. Sistema de referencia cartográfico del MOEM para el Golfo de California. (Basado en la CONABIO, 2002)

<i>Proyección</i>	Cónica Conforme Lambert
<i>Datum</i>	NAD 1927
<i>Elipsoide</i>	Clarke de 1886
<i>Paralelo estándar 1</i>	17.5 grados
<i>Paralelo estándar 2</i>	29.5 grados
<i>Longitud del meridiano central</i>	-102 grados
<i>Latitud del origen de la proyección</i>	0 grados
<i>Falso este</i>	2,000,000 m
<i>Falso norte</i>	0 m
<i>Reticula de la proyección</i>	Cada 200,000 m
<i>Reticula geográfica</i>	Cada 1 grado
<i>Rotación de la proyección</i>	6 grados

4.5 ZONIFICACIÓN

El esquema de zonificación usado para este trabajo fue el desarrollado para el proyecto de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California realizado por la SEMARNAT (2006), como marco de referencia del SIG para las bases de un Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino.

Dentro de las características de la zonificación están dos zonas importantes, la costera y la oceánica, que tienen como objeto, evaluar separadamente la influencia terrestre sobre la zona costera, la cual se asume que es más fuerte que en las áreas oceánicas del Golfo de California. Debido a esto, en el esquema global de zonificación se distinguen dos grandes ambientes, el marino-costero y el marino-oceánico. Todo bajo una estructura de clasificación jerárquica de seis niveles costeros y cinco oceánicos: ambiente, sistema, subsistema1, subsistema2, paisaje y unidad. La superposición de estos niveles o coberturas temáticas ambientales (Fig. 4.2), resulta en la fragmentación o zonificación del espacio geográfico sujeto a estudio, dichos fragmentos o unidades ambientales posteriormente son tomados como unidades básicas de diagnóstico.

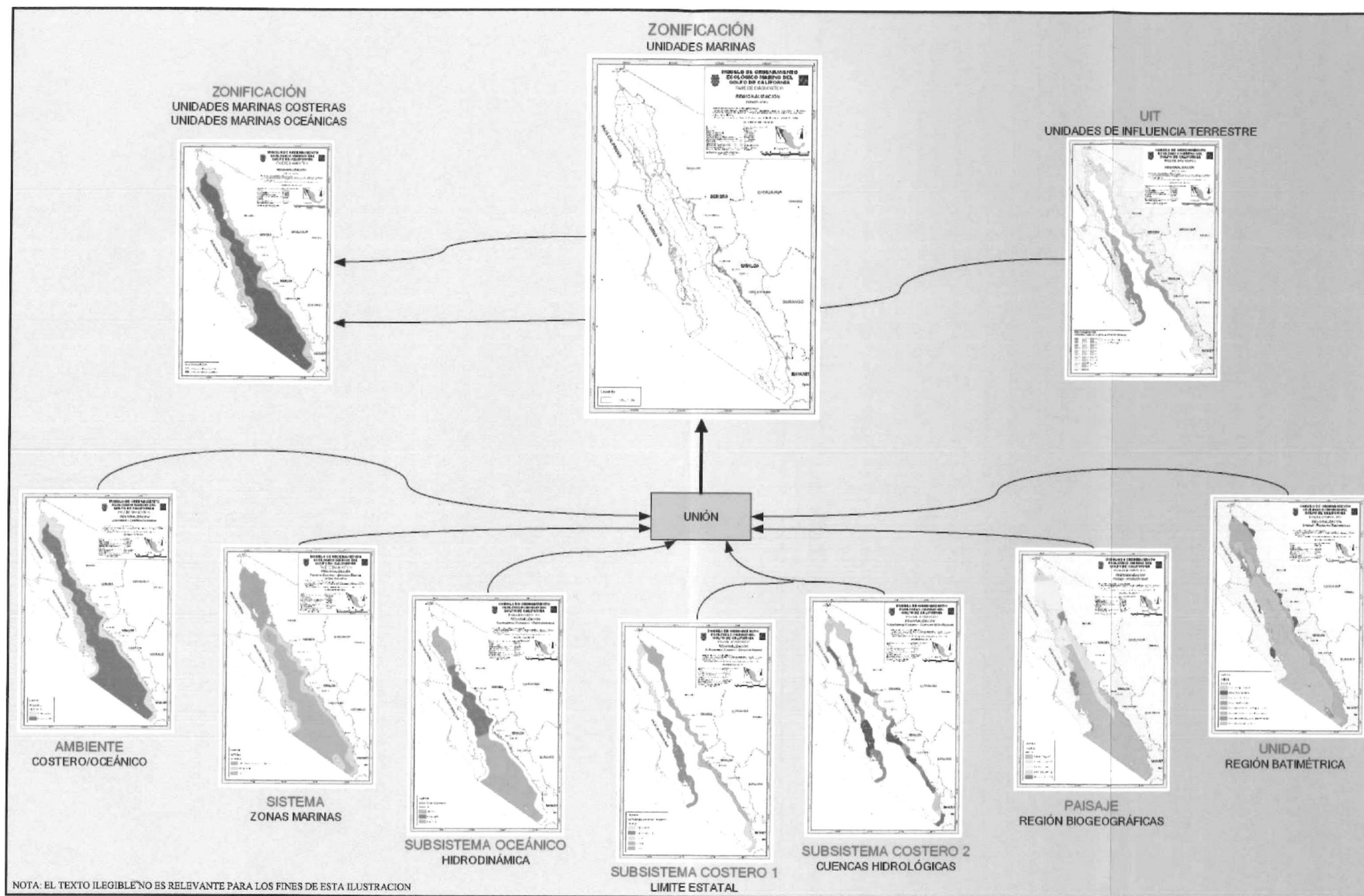


Figura 4.2. Proceso de zonificación: superposición temática jerarquizada para la generación de unidades marinas

En los siguientes cuadros (4.II y 4.III) se presentan los criterios jerárquicos de zonificación que se utilizaron para el caso de estudio; éstos fueron comunes para los dos ambientes considerados, a excepción del nivel de subsistema, ya que para el caso del ambiente marino-costero se consideró la entidad estatal así como una extensión mar adentro de los límites de la cuenca hidrológica, teniendo así dos criterios a nivel de subsistema (Cendrero 1989, Gomez-Morin *et al.* 1991).

Cuadro. 4. II. Criterios de zonificación para el ambiente marino-costero.

Nivel	Ambiente	Sistema	Subsistema 1	Subsistema 2	Paisaje	Unidad
Criterio	Costero	Zonas Marinas	Estado	Cuenca hidrológica	Región biogeográficas	Región Batimétrica

Cuadro 4. III. Criterios de zonificación para el ambiente marino-oceánico.

Nivel	Ambiente	Sistema	Subsistema	Paisaje	Unidad
Criterio	Oceánico	Zonas Marinas	Régimen Hidrodinámico	Región biogeográficas	Región Batimétrica

El sistema de clasificación sobre el que se basa la zonificación del MOE, describe los elementos que conforman cada uno de los criterios ambientales considerados para su integración (Ver cuadro 4.IV). La superposición cartográfica de manera jerarquizada desde el nivel de ambiente hasta el de unidad constituye, en la práctica, la creación de las unidades ambientales como objetos de análisis. La figura 4.3 ilustra el resultado final del proceso de superposición temática en un mapa de zonificación que delinea a cada una de las 123 unidades ambientales marinas (UAM).

Cuadro 4.IV. Sistema de clasificación para los ambientes marino-oceánico y marino-costero para la zonificación del Ordenamiento Ecológico Marino de Golfo de California.

AMBIENTE	SISTEMA	SUBSISTEMA		PAISAJE	UNIDAD
1 Marino oceánico	1 Pelágico (Mas alla del Mar Territorial)	HIDRODINAMICA		PRODUCTIVIDAD	
		HIDROD C HIDROD D		REGION BATIMETRICA	
		A	Alto Golfo	1 De 0 a 12 mgr/m3 (VIII, IX, XI, XII, XIII, XIV)	1 Profundidad de 0 a 200 m / Baja Pendiente
Clave con 5 partes	2 Mar Territorial	B	Parte Central	2 De 1.3 a 2.0 mgr/m3 (V, X)	2 Canal / Baja Pendiente
		C	Bajo Golfo	3 De 2.1 a 3.0 mgr/m3 (II, III, IV, VII)	3 Canal / Alta Pendiente
				4 De 3.1 a 4.0 mgr/m3 (I)	4 Profundidad de 0 a 200 m / Plataforma Insul
3 Aguas Marinas Interiores - Parte norte del Golfo de California				5 Mayor de 4.0 mgr/m3 (VI)	5 Profundidad superior a 200 m
				N/A Isla	6 Profundidad de 0 a 200 m / Alta Pendiente
					7 Laguna / Baja Pendiente
2 Marino Costero	2 Mar Territorial	Subsistema 1			8 Bahía / Baja Pendiente
		Subsistema 2			N/A Isla
		ESTAD C ESTAD D	CUEN C CUEN D		
Clave con 6 partes	3 Aguas Marinas Interiores	1	Baja California	1 Arroyo Agua Dulce-Sta. Clara	
		2	Baja California Sur	2 Lago Salado-Arroyo del Diablo	
		3	Sonora	3 Arroyo Sta. Isabel y otros	
		4	Sinaloa	4 Arroyo Paterna-Arroyo Mulege	
		5	Nayarit	5 Arroyo Camalajue y otros	
				6 Isla Coronados-Bahía La Paz	
				7 La Paz-Cabo San Lucas	
				8 Arroyo Frijol-Arroyo San Bruno	
				9 Río Colorado	
				10 Bacanora-Mejorada	
				11 Desierto del Alcar-Rio Bamori	
				12 Río Concepcion-Arroyo Cocaspera	
				13 San Ignacio y otros	
				14 Río Sonora	
				15 Río Matape	
				16 Río Mayo	
				17 Río Bacooachi	
				18 Río Yaqui	
				19 Río San Lorenzo	
				20 Río Culiacan	
				21 Bahía Lechugilla-Dhuira-Navachiste	
				22 Río Mocorito	
				23 Río Piañtia-Río Elota-Río Queite	
				24 Estero de Bacorehuis	
				25 Río Sinaloa	
				26 Río Presidio	
				27 Río Acaponeta	
				28 Río Baluarte	
				29 Río San Pedro	
				30 Santiago-Aguamilpa	
				31 Río Huicicilia-San Blas	

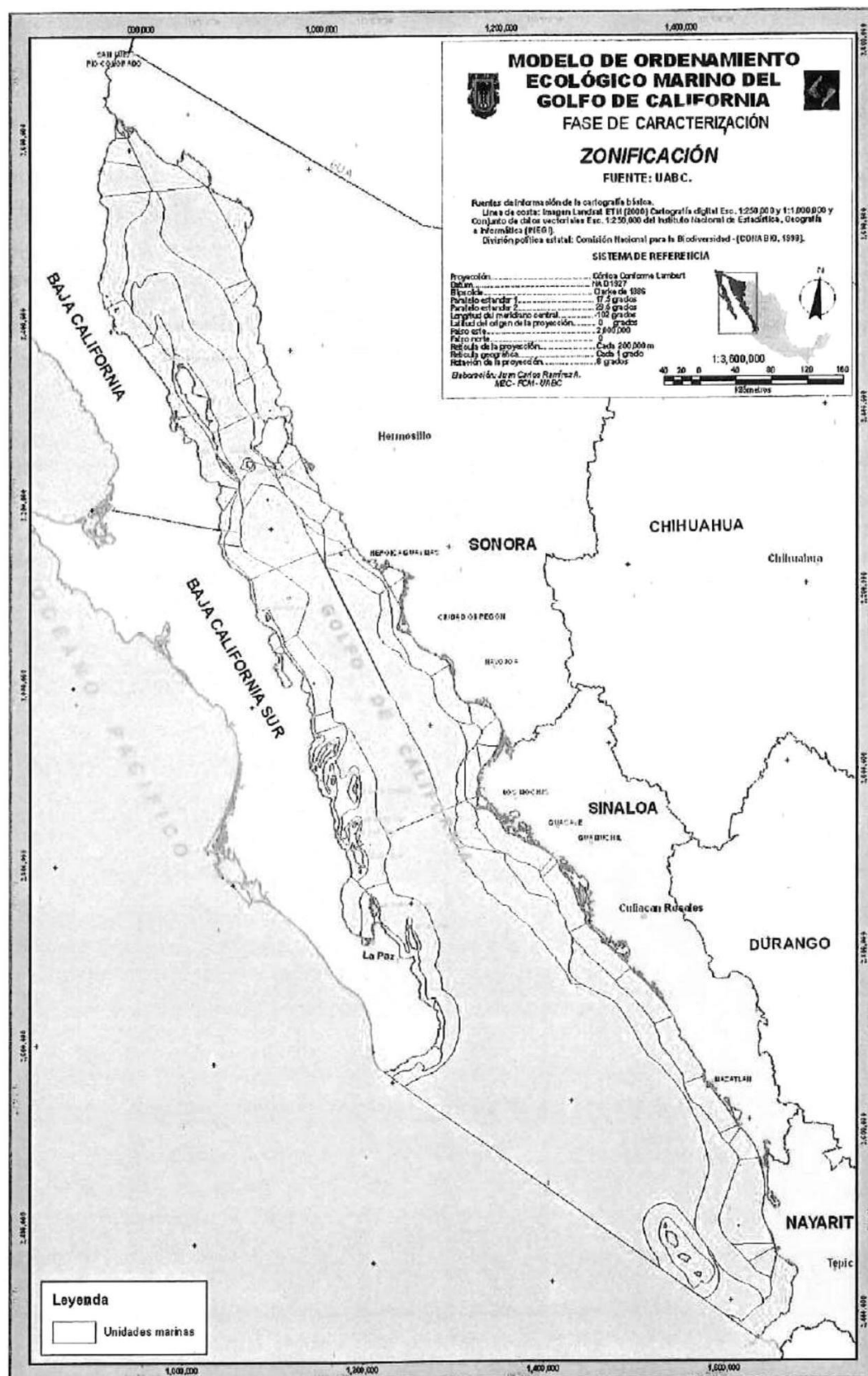


Figura 4.3 Unidades marinas producto de la zonificación.

4.6 UNIDADES DE INFLUENCIA TERRESTRE

Considerando que existe una evidente influencia del ambiente terrestre sobre el costero, las unidades de influencia terrestre se generan como parte de la zonificación con la intención de incluir en el análisis del MOE los procesos costero-terrestres que afectan en la zona costera-marina. Estas unidades de influencia terrestre (UIT) se derivan por la combinación de varios criterios: i) de las cuencas hidrológicas existentes alrededor de la línea de costa, ii) por los límites estatales de las entidades involucradas y iii) por el límite tierra adentro de una franja de 20 km a partir de la línea de costa, la cual fue mas ancha para las costas de algunos estados con el fin de incluir áreas de socio-económicamente importantes. (Cuadro 4.V).

La relación de influencia de un UIT sobre las unidades ambientales marinas puede ser de una a una o una a varias, según su distribución espacial y los límites de las cuencas extendidas mar adentro. La figura 4.4 ejemplifica las 32 UIT y las unidades costeras sobre las que influyen.

Cuadro 4.V. Características de las Unidades de Influencia Terrestre (UIT)

Clave UIT	ESTADO	Cuenca (perteneciente a la UIT)
1	Baja California Sur	La Paz-Cabo San Lucas, Arroyo Caracol-Arroyo candelaria
2	Baja California Sur	isla Coronado-Bahía La Paz, Arroyo Venancio-Arroyo Salado, Arroyo Caracol-Arroyo Candelaria
3	Baja California Sur	Arroyo Fríjol-Arroyo San Bruno
4	Baja California Sur	Arroyo Paterna-Arroyo Mulegé
5	Baja California Sur	Arroyo Santa Isabel y otros
6	Baja California	Arroyo Santa Isabel y otros
7	Baja California	Arroyo Camalajue y otros (parte sur: alrededor de Bahía de Los Ángeles)
8	Baja California	Arroyo Camalajue y otros (parte norte: alrededor de San Luis Gonzaga)
9	Baja California	Arroyo Agua Dulce-Sta Clara
10	Baja California	Lago Salado-Arroyo del Diablo
11	Baja California	Río Colorado, Bacanora-Mejorada, Lago Salado-Arroyo del Diablo
12	Sonora	Río Colorado
13	Sonora	Río Concepción-Arroyo Cocaspera, Desierto del Altar-Río Bamori
14	Sonora	San Ignacio y otros
15	Sonora	Río Bacoachi
16	Sonora	Río Sonora
17	Sonora	Río Matape
18	Sonora	Río Yaqui
19	Sonora	Río Mayo
20	Sonora	Estero de Bacorehuis
21	Sinaloa	Estero de Bacorehuis, Río Fuerte
22	Sinaloa	Bahía Lechugilla-Ohuira-Navachiste
23	Sinaloa	Río Sinaloa
24	Sinaloa	Río Mocorito
25	Sinaloa	Río Culiacán
26	Sinaloa	Río San Lorenzo
27	Sinaloa	Río Piaxtla-Río Elota-Río Quelite
28	Sinaloa	Río Presidio
29	Sinaloa	Río Baluarte
30	Sinaloa	Río Acajoneta
31	Nayarit	Río Acajoneta, Río San Pedro
32	Nayarit	Río Huicicila-San Blas, Santiago-Aguamilpa

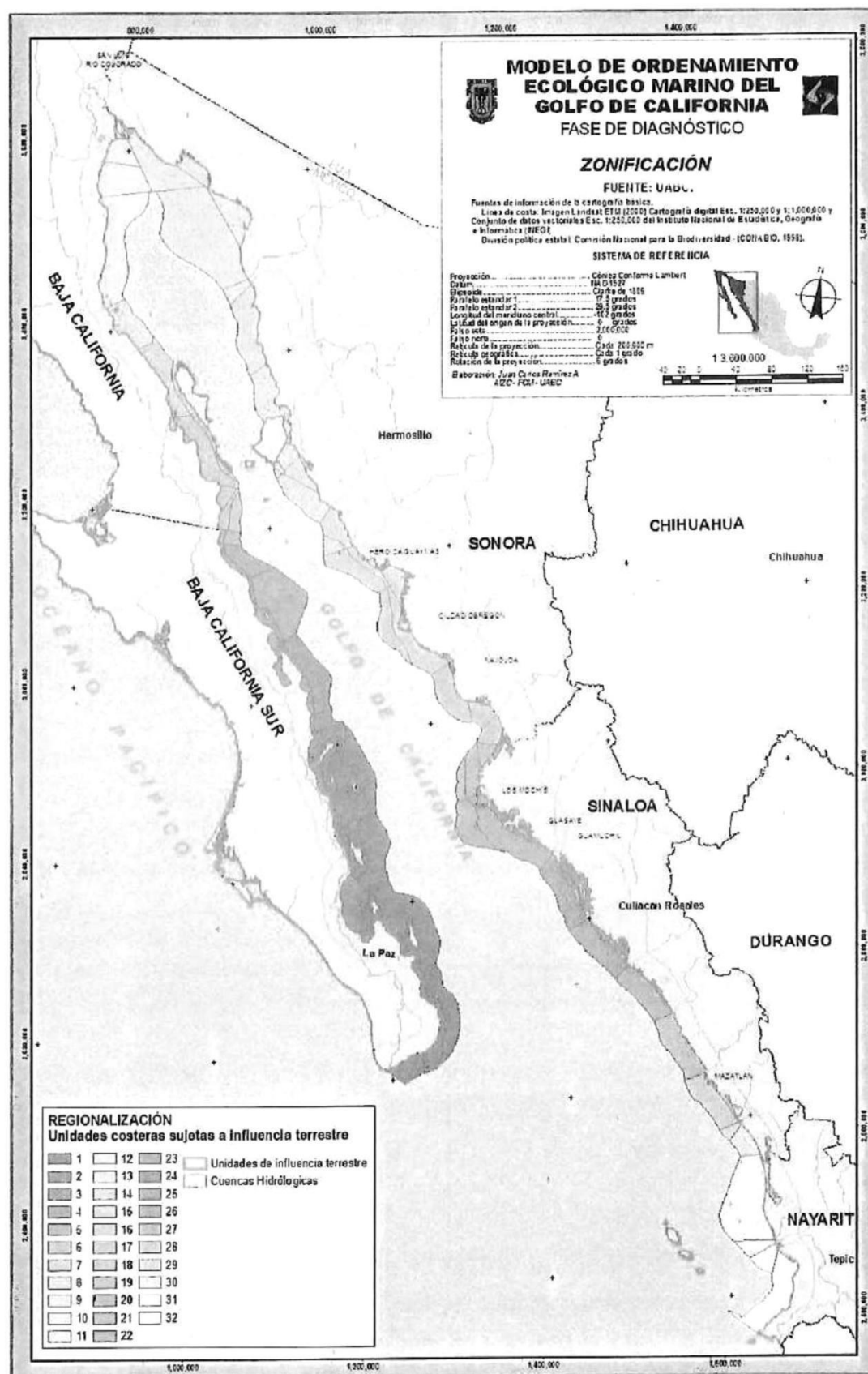


Figura 4.4. Unidades marinas costeras sujetas a influencia terrestre por UIT's.

4.7 MODELOS DE APTITUD E INDICADORES AMBIENTALES

Uno de los principales objetivos de la etapa de diagnóstico en el proceso de ordenamiento es determinar la *aptitud territorial o sectorial*. La aptitud territorial de acuerdo al Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico (SEMARNAT, 2003), se define como la capacidad del territorio para soportar una determinada actividad humana. Desde otra perspectiva, dicha aptitud puede ser entendida como la representación espacial de los intereses de cada sector sobre los recursos naturales.

Para este caso de estudio, la definición de la aptitud implica un análisis de los atributos ambientales asociados a las actividades humanas sectoriales realizadas dentro del área sujeta a ordenamiento con el fin de identificar, a través de productos cartográficos, aquellas zonas de mayor concurrencia o interés humano en los recursos naturales y sobre las cuales se da la pauta para definir alternativas de uso del territorio y/o aprovechamiento de los bienes naturales.

Considerando la escala de trabajo sobre la que se contempla este trabajo y el caso de estudio en el que se desarrolla esta herramienta de diagnóstico, los análisis de aptitud de acuerdo a estos criterios son enfocados a cuatro sectores de alta relevancia en el ámbito marino del Golfo de California: la pesca industrial, la pesca ribereña, el turismo y la conservación.

La aptitud de cada sector se determinó a través de modelos de aptitud sectorial integrados por factores o atributos ambientales que reflejan el interés de cada sector (Cendrero, *et al.*, 2003; Cendrero y Fischer, 1997). Bajo este concepto, los modelos se componen de índices e indicadores ambientales (Cendrero, *et al.*, 2003; Christie, 2005; García Gastelum, 2006) y matemáticamente se representan como la suma ponderada de los atributos ambientales seleccionados para cada sector:

$$IA = (a_1 * p_1) + (a_2 * p_2) + (a_3 * p_3) + \dots + (a_n * p_n)$$

Donde:

IA = Índice de aptitud;

a_i = atributo ambiental;

p_i = peso del atributo ambiental.

Los MOE deben responder a un proceso de planificación *dirigida* donde, para la toma de decisiones, es necesario determinar la importancia relativa de cada atributo ambiental empleado según el sector y el contexto en el que se evalúa. Para esta tarea se hace uso de ponderaciones que permitan establecer dicha importancia a cada componente (García-Gastelum 2006).

La ponderación puede establecerse a través de un análisis de consulta a expertos (Balkey, 1968) con la cual se determinarían empíricamente los pesos de cada componente. Para este caso de estudio en particular, la

ponderación empleada se derivó de un análisis de opinión que involucró representantes de cada sector considerado y expertos en la materia.

El tipo de información que constituye a los atributos ambientales puede ser de carácter cualitativo o cuantitativo dependiendo de su naturaleza y disponibilidad. Para efectos de su procesamiento y análisis, toda la información tiene que ser traducida a un formato numérico. En el caso del tipo cualitativo, la información es codificada en términos numéricos para habilitarla en los procesos de análisis matemáticos. Previo al análisis, todas las bases de datos son asociadas numérica y espacialmente a cada unidad marina, ya que estas son consideradas las unidades operativas de análisis.

Debido a que la información usada durante el análisis de aptitud para cada sector difiere por su naturaleza en dimensiones y mediciones de manera heterogénea (por provenir de diferentes orígenes y disciplinas), los valores de los índices e indicadores resultantes del modelo matemático deben ser homogenizados en su dimensión y escalados dentro de un rango de valores estándar (0 - 1). Esto, con el fin de hacerlos comparables y combinables con otros índices o indicadores igualmente obtenidos; adicionalmente así se evita el posible sesgo generado por datos provenientes de fuentes con diferentes unidades de medición.

El proceso a través del cual los valores de dimensiones heterogéneas en las bases de datos, índices e indicadores son ajustadas a un sólo rango de

valores con distribución numérica adimensional, es el del método estadístico no paramétrico definido como *normalización* desarrollado por Nijkamp y Rietveld (1990) bajo la siguiente expresión (Cendrero, *et al.*, 1997; Seingier, *et al.*, 2005):

$$B_j = \frac{(X_j - \min X_j)}{(\max X_j - \min X_j)}$$

Donde:

B_j = Valor del dato normalizado,

X_j = Valor del dato a normalizar,

$\min X_j$ = Valor mínimo de los datos,

$\max X_j$ = Valor máximo de los datos.

Una vez obtenidos y normalizados los índices de aptitud para cada sector en cada unidad marina, es necesario expresar este resultado cartográficamente a través de un mapa de aptitud, con el propósito de visualizar en términos espaciales los valores numéricos obtenidos y facilitar la interpretación de los mismos. Para realizar esto, los valores normalizados de 0 a 1 son transformados a una escala cualitativa a través de su clasificación en tres rangos (alto, medio y bajo). El ancho de las clases puede estar definido de manera equitativa ($0 - 0.33 = \text{Bajo}$; $0.331 - 0.66 = \text{Medio}$; ó $0.661 - 1 = \text{Alto}$), o bien en función de la distribución numérica del índice a lo largo de todas las unidades y considerando los puntos de inflexión como límite de clase en la curva de valores.

4.8 DESCRIPCIÓN DE MODELOS TEÓRICO-MATEMÁTICOS DE APTITUD SECTORIAL.

4.8.1 Aptitud del sector pesca ribereña (IAPER)

El índice de aptitud de pesca ribereña se construye a partir de la suma ponderada de siete atributos concensuados y considerados de mayor importancia para el sector:

$$\underline{CAM (0.5) + ESC (0.2) + CAL (0.1) + JAI (0.1) + TC (0.07) + TOC (0.07) + Ba (0.03)}$$

Donde los siete atributos son los siguientes:

CAM: proporción de zonas de pesca de camarón presente en cada unidad marina (valores de 0.00 a 1.00)

ESC: proporción de zonas de pesca de peces de escama presente en cada unidad marina (considerando escama como corvina, lisa, pargo, róbalo, huachinango, y sierra) (valores de 0.00 a 1.00)

CAL: proporción de zonas de pesca de calamar presente en cada unidad marina (valores de 0.00 a 1.00)

JAI: proporción de zona de pesca de jaiba presente en cada unidad marina (valores de 0.00 a 1.00)

TC: proporción de zona de pesca de tiburón costero presente en cada unidad marina (valores de 0 a 1)

TCO: proporción de zona de pesca de tiburón oceánico presente en cada unidad marina (valores de 0 a 1)

Ba: presencia o ausencia de bahías y lagunas costeras (valor binario, 0 o 1)

4.8.2 Aptitud del sector pesca industrial (IAPIN)

El índice de aptitud de pesca industrial se construye a partir de la suma ponderada de seis atributos concensuados y considerados de mayor importancia para el sector:

$$\underline{CAM (0.9) + PM (0.08) + CAL (0.01) + COR (0.01) + TIB (0.01) + TIB (0.01)}$$

Donde los seis atributos son los siguientes:

CAM: proporción de zonas de pesca de camarón presente en cada unidad marina (valores de 0.00 a 1.00)

PM: proporción de zonas de pesca de pelágicos menores presente en cada unidad marina (considerando pelágicos menores como: sardina, macarela,) (valores de 0.00 a 1.00)

CAL: proporción de zonas de pesca de calamar presente en cada unidad marina (valores de 0.00 a 1.00)

COR: proporción de zona de pesca de corvina presente en cada unidad marina (valores de 0.00 a 1.00)

TC: proporción de zona de pesca de tiburón costero presente en cada unidad marina (valores de 0 a 1)

TCO: proporción de zona de pesca de tiburón oceánico presente en cada unidad marina (valores de 0 a 1)

4.8.3 Aptitud del sector conservación (IACON)

El índice de aptitud para el sector conservación (IACON) se construye a partir de la suma de siete atributos concensuados y considerados de mayor importancia para el sector:

$$\underline{BIO + AVE + EESTA + PROD + AEND + HUM + Ba}$$

Donde los siete atributos son los siguientes (por UAM):

BIO: Biodiversidad. Número de especies por UAM.

AVE: Aves. Presencia de aves en UAM (valor binario, 0 o 1).

EESTA: Especies con estatus. Presencia por UAM (vaquita, totoaba, tortugas, ballena azul, ballena jorobada, delfín nariz de botella, pepino de mar, tiburón ballena, tiburón blanco, tiburón peregrino)

PROD: Concentración de pigmentos por UAM. Reclasificación a 5 niveles del análisis de concentración de pigmentos (Codificación de valores de 1 a 5)

AEND: Especies algas endémicas. Porcentaje de endemismo de macroalgas en los mantos presentes en la UAM.

HUM: Humedales. Presencia mangle por UAM (valor binario, 0 o 1)

Ba: Bahías y lagunas costeras. Presencia o ausencia de bahías y lagunas (valor binario, 0 o 1)

4.8.4 Aptitud del sector turismo (IATUR)

El índice de aptitud de turismo se construye a partir de la suma ponderada de seis atributos consensuados y considerados de mayor importancia para el sector:

$$(0.5) ANAM + (0.3) ISTUM + 0.1 (IPUM + IAER + ICAM + IHOT)$$

Donde los seis atributos son los siguientes (por UA):

ANAM: Índice de atractivos naturales marinos. Sumatoria normalizada de los valores binarios de la presencia o ausencia de especies de interés para turismo (aves, tortugas (laúd, prieta y golfinas), mamíferos marinos, tiburón ballena), áreas naturales protegidas, ocurrencia de playas de interés, y bahías / lagunas.

ISTUM: Índice de servicios turísticos. Sumatoria normalizada de los valores binarios de la presencia o ausencia de sitios de buceo, sitios para el surf, zonas de pesca deportiva, sitios de interés para deportes acuáticos.

IPUM: Índices de puertos. Sumatoria normalizada de los valores binarios de la presencia o ausencia en la UA de centros náuticos, marinas, fondeaderos y puertos naturales.

En la parte terrestre, el IATUR se compone por la sumatoria sin ponderación y normalizada de los tres siguientes elementos asociados a cada UIT e indirectamente a las unidades marino-costeras:

Índice de aeropuertos (*IAER*): sumatoria normalizada de la proporción del número de aeropuertos internacionales, nacionales, y aeropistas en la unidad de influencia terrestre (UIT).

Índice de caminos (*ICAM*): sumatoria normalizada de los valores de la densidad de carreteras pavimentadas y de terracerías en la UIT

Índice de hoteles (*IHOT*): sumatoria normalizada de los valores de número de cuartos de hotel en la UIT.

Los valores de IATUR por UIT se asignan a las UAM costeras por medio de una tabla de correspondencia entre UIT y UAM.

Una vez calculado el valor del conjunto de las 123 UMA, se normaliza para obtener el respectivo Índice (*IAPER*, *IAPIN*, *IACON*, *IATUR*), el cual se utiliza para definir las tres clases, con los límites antes mencionados, para cada índice (Alto, Medio y Bajo) y de este modo representarlos geográficamente en un mapa.

4.9 DEFINICIÓN ESPACIAL DE CONFLICTOS

Un segundo elemento que por reglamentación debe ser integrado en la etapa de diagnóstico se refiere a la identificación de los conflictos ambientales a partir del análisis de la concurrencia espacial de las actividades sectoriales incompatibles (DOF-SEMARNAT 2003). Este apartado pretende apoyar la etapa del diagnóstico en un análisis espacial de los conflictos con base en las aptitudes sectoriales definidas previamente.

Este análisis espacial se concibe por las seis combinaciones posibles de aptitudes sectoriales entre los cuatro sectores; de tal manera que se establece una medida del grado de interacción por pares de sectores a través de los valores de aptitud estimados en cada unidad marina. Aquellas unidades con valores de aptitud altos para cualquier par de sectores combinados representarán las áreas de mayor interacción entre esos dos sectores.

Además de las seis combinaciones posibles entre los cuatro sectores considerados para el Ordenamiento Ecológico Marino de Golfo de California como caso de estudio, también se realiza una séptima interacción total que combina las aptitudes de todos los sectores con el fin de identificar de manera general las áreas de mayor concurrencia de intereses sectoriales en el Golfo de California. Las interacciones definidas son las siguientes:

- 1) *Pesca ribereña* $\leftrightarrow$ *Pesca industrial*
- 2) *Pesca ribereña* $\leftrightarrow$ *Conservación*
- 3) *Turismo* $\leftrightarrow$ *Pesca ribereña*,
- 4) *Turismo* $\leftrightarrow$ *Pesca industrial*,
- 5) *Turismo* $\leftrightarrow$ *Conservación*,
- 6) *Pesca industrial* $\leftrightarrow$ *Conservación*.
- 7) *Pesca ribereña* $\leftrightarrow$ *Pesca industrial* $\leftrightarrow$ *Turismo* $\leftrightarrow$ *Conservación*

4.10 AUTOMATIZACIÓN DE GEO-PROCESOS

El geoprecesamiento (o *geoprocessing*) es una función básica de un SIG y permite la creación de nuevos datos a partir de la transformación de información geográfica ya existente. Cualquier extracción o alteración de información de tipo geográfico-espacial implica una tarea de geoprecesamiento. Estas pueden ser simples como la creación de una copia de una cobertura espacial, o bien compuesta como la selección de algunos de sus atributos en función de su ubicación o relación espacial respecto a otras coberturas. Adicionalmente involucran múltiples tareas que pueden ser ejecutadas de manera secuencial para obtener un resultado final.

El principal fin de estas tareas es establecer una relación (ya sea espacial o de las bases de datos) entre los atributos ambientales considerados en los modelos de aptitud de cada sector y las UAM definidas en la zonificación. Esto es debido a que todos los análisis del diagnóstico para el MOEM toman como referencia básica de análisis a las UAM contenidas en la cobertura de zonificación. Por esta razón todos los geoprosesos desarrollados en cada modelo invariablemente involucran, en algún momento dado, esta asociación atributo-zonificación.

Cada “geoproseso” está compuesto de un grupo de al menos tres elementos conectados, el dato de entrada (*input variable data*), la operación o proceso (*tool*) y el dato de salida (*output variable data*). Cada uno de ellos cuenta con

una serie de parámetros (valores que determinan el resultado de una función u operación) dependiendo del tipo de elemento y proceso. Estos elementos son conectados a través de flechas que indican el sentido de la secuencia de procesamiento. Cada elemento creado representa una variable que puede compartirse entre diferentes procesos, de tal manera que puedan crearse cadenas de procesos múltiples o compuestos (Figura 4.6).

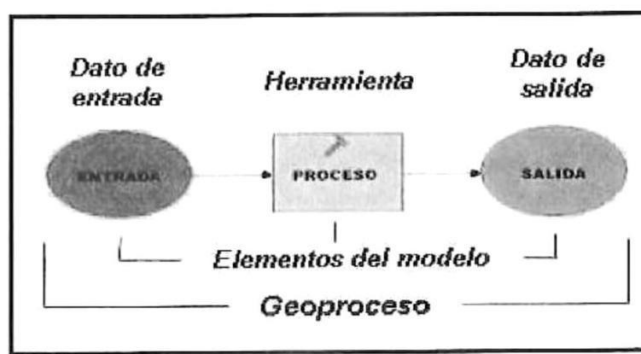
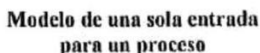


Figura 4.6. Elementos de un modelo simple de geoprocésamiento.

Cada grupo de geoprocésos ya sea simple, compuesto, múltiple o complejo representa lo que se conoce como un modelo de geoprocésamiento dentro de un ambiente de SIG. Algunos de ellos pueden operar de manera espacial en los atributos o elementos de una cobertura de información o bien pueden modificar o actualizar los valores de la base de datos asociados a dichos atributos. En la figura 4.7 se presentan los tipos de modelos que pueden ser contruidos dentro de la interfase *ModelBuilder®* embebida en el módulo *ArcTools®* del paquete *ArcGis®*.



información geográfica.

figura 4.8 ejemplifica el diagrama de un modelo sencillo con esta interfase.

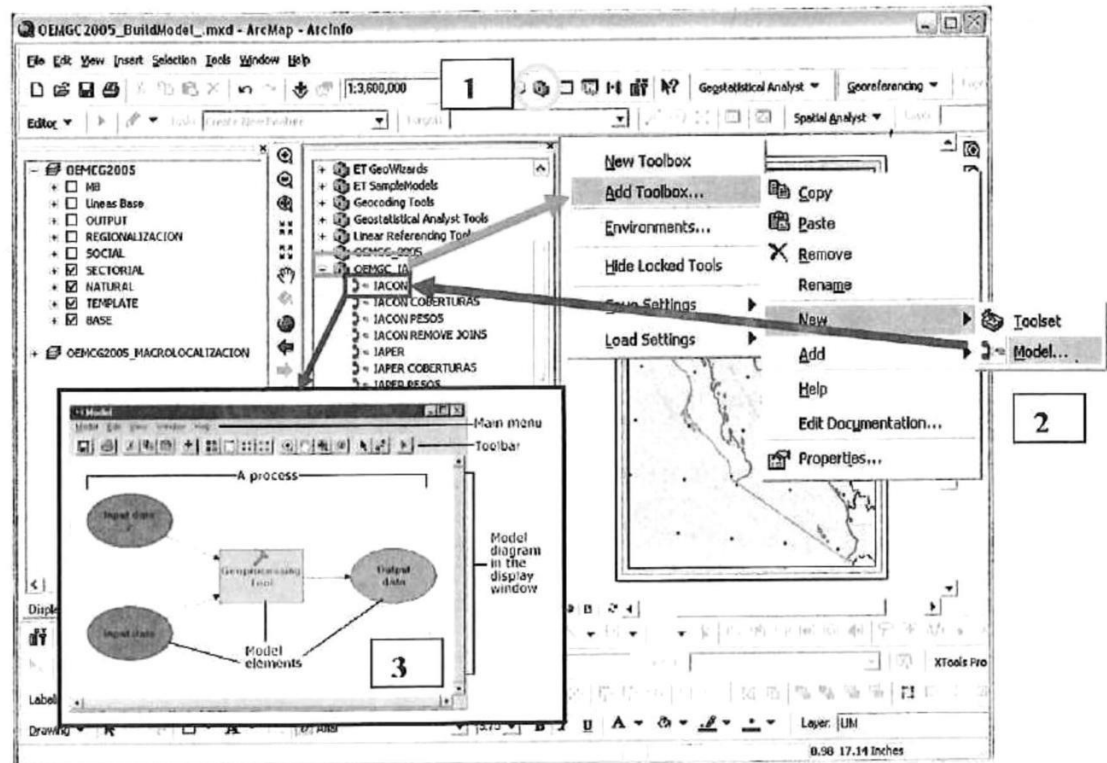


Figura 4.8. Creación de modelos de geoprocresamiento (1 y 2) y ejemplo de un modelo (3) dentro de la interfase *ModelBuilder®* de *ArcGis®*.

4.10.1 Descripción General de Herramientas de Geoprocresamiento

Para la creación de los modelos empleados en este trabajo, se usaron geoprocresamientos tanto simples como complejos que fueron ligados entre si para establecer una secuencia de tareas automáticas y repetibles sobre las cuales es posible modificar los parámetros que emplean dichas tareas. A continuación se describen de manera genérica cada uno de los tipos de geoprocresos empleados en la construcción de los modelos de aptitud.

4.10.2 Geoprocesos simples

Sumario de estadísticas (Summary Statistics).- Herramienta de análisis que calcula estadísticas básicas para un campo o columna de información en una tabla de atributos.

Copiado de cobertura espacial (Copy Features).- Herramienta de manejo de datos que copia los elementos o atributos de una cobertura espacial de información en su totalidad o parcialmente a través de la selección de algunos o todos los registros de su base de datos.

Agregar campo (Add Field).- Herramienta de manejo de datos que agrega un nuevo campo o columna de información a una tabla de atributos o base de datos.

Cálculo de campo (Calculate Field).- Herramienta de manejo de datos que permite realizar cálculos espaciales o matemáticos para cada uno de los registros o atributos de una tabla o base de datos.

Borrar campo (Delete Field).- Herramienta de manejo de datos que borra un campo de información seleccionado dentro de una tabla de atributos o base de datos.

Selección por atributos (Select Layer by Attributes).- Herramienta de manejo de datos que crea, actualiza o remueve una selección de registros o atributos en una tabla a través de una consulta.

Crear cobertura de atributos (Make Feature Layer).- Herramienta de manejo de datos que crea una cobertura temporal de información como auxiliar durante algunos procesos.

4.10.3 Geoprocesos compuestos

Intersección (Intersect).- Herramienta de análisis espacial que calcula las áreas de intersección de dos coberturas de información. Los objetos o porción de objetos comunes en el espacio de dos coberturas de información son la resultante de este proceso.

Agregar unión (Add Join).- Herramienta de manejo de datos que une dos tablas de atributos o bases de datos con base en los valores de un campo de información en común. Los campos de información de la tabla "Y" son agregados a los de la tabla "X" si es que coinciden los valores de la columna en común de ambas tablas.

Selección por ubicación (Select Layer by Location).- Herramienta de manejo de datos que crea, actualiza o remueve una selección de atributos en

una cobertura de información basada en sus relaciones espaciales o ubicación geográfica con respecto a otras coberturas.

4.10.4 Geoprocesos especiales (programados o personalizados)

Este grupo de herramientas se clasifica como "especiales" ya que constituyen la generación de procesos matemáticos durante la evaluación de aptitudes sectoriales en el diagnóstico del ordenamiento. Para su creación fue necesario codificar rutinas de programación en el lenguaje de programación de código abierto (OpenSource) llamado *Python*®, así como adaptarlas a la interfase *ModelBuilder*® y habilitar la edición de los parámetros que usan para determinar diferentes tipos de escenarios y permitir un mayor entendimiento y control de los resultados en la fase de diagnóstico.

Normalización.- Herramienta de manejo de datos que ajusta los valores de un campo o columna de información de una tabla de atributos o base de datos en un rango de 0 a 1. Esta herramienta permite la normalización de análisis matemáticos de información proveniente de diferentes escalas y naturalezas para la comparación de valores resultantes. El algoritmo se basa en la ecuación propuesta por Nijkamp y Rietveld (1990), previamente citada.

Modelo Aptitud.- Herramienta de manejo de datos que integra las ecuaciones matemáticas que establecen la aptitud de cada sector. La herramienta está creada en función del diseño y la estructura conceptual de cada uno de los modelos de aptitud, es decir, operan únicamente de acuerdo al número de componentes que constituyen a cada modelo sectorial (seis para el caso de IAPIN y IATUR, y siete para IAPER y IACON). Su funcionamiento requiere de seis o siete variables de entrada según sea el caso y crea una copia de la cobertura de zonificación con nuevos valores normalizados de aptitud sectorial.

Interacción intersectorial.- Herramienta de manejo de datos que permite establecer la relación aditiva de los intereses sectoriales por pares a través de sus aptitudes sectoriales. Suma y normaliza los valores normalizados de aptitud de cada unidad marina en un nuevo campo de información. Opera con dos coberturas de información de entrada y genera una copia de la cobertura de zonificación con nuevos valores.

Interacción Total.- Herramienta de manejo de datos que determina la relación aditiva de los intereses sectoriales a través de sus valores de aptitud. Opera con cuatro variables de entrada y crea copia de la cobertura de zonificación con una sumatoria normalizada de los valores de aptitud de cada sector para cada unidad marina.

5. RESULTADOS

5.1 ESQUEMA DETALLADO DE LA ESTRUCTURA Y PROCESOS DEL MOE

El modelo fue diseñado en función del esquema metodológico empleado para el proyecto de OEM del GC y por otro lado, la información empleada, requería poseer cierta distribución, forma y carácter oficial para que pudiera adaptarse a las necesidades propias del proyecto.

El diagrama de la figura 5.1 esquematiza de manera global los diferentes componentes embebidos dentro del MOE para cada fase de su desarrollo, desde la caracterización y la cartografía temática seleccionada y usada, hasta la definición de las áreas geográficas con posibles conflictos intersectoriales, pasando por la aplicación de los modelos de aptitud de cada sector previamente elaborados y retomados como referencia del proyecto de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California.

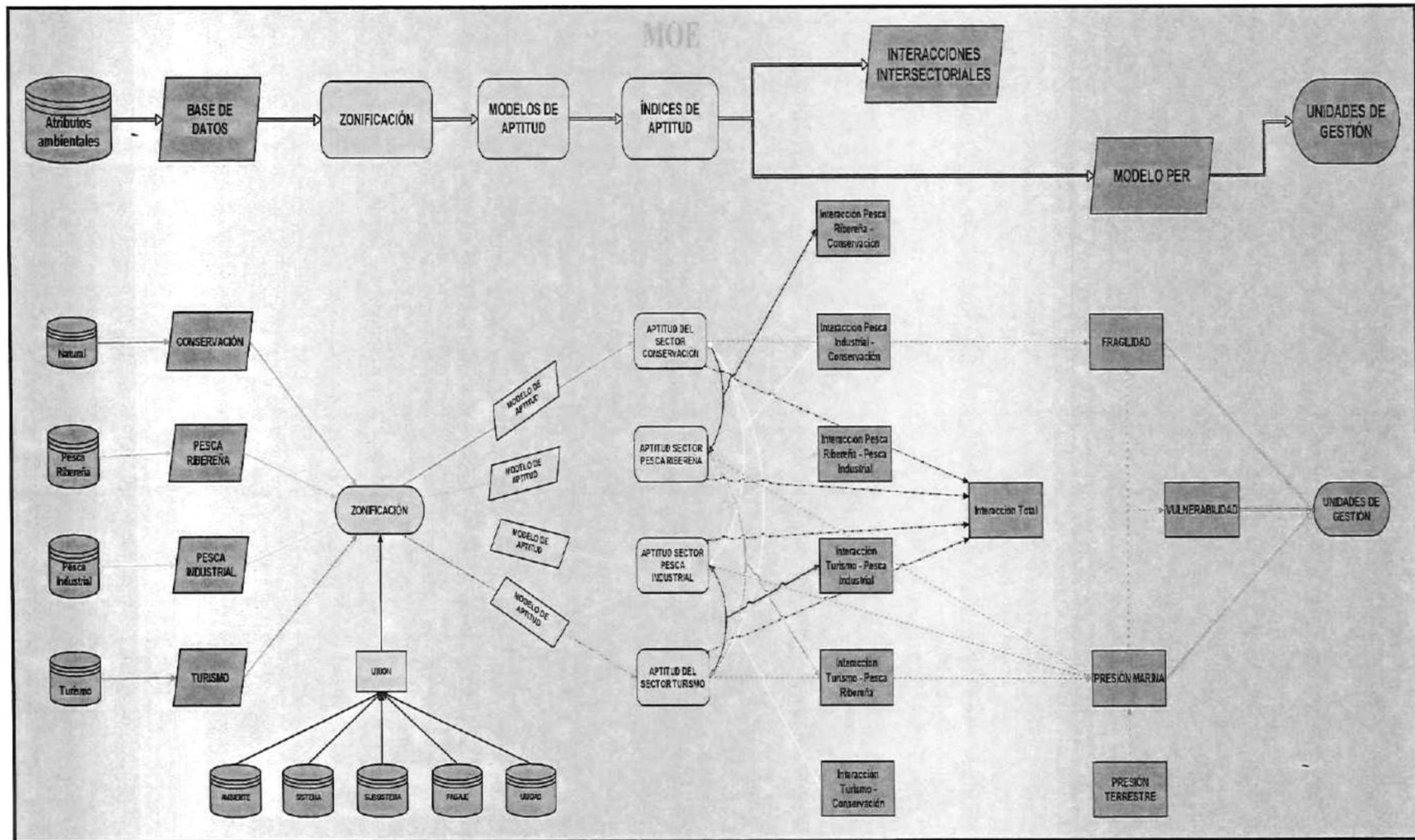


Figura 5.1. Esquema general del desarrollo del Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino aplicado al Golfo de California.

5.2 COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL SIG

Dentro del diseño del SIG, fue necesario considerar aspectos como el de su composición, relacionado a los elementos que lo conformarían (sistema de referencia, coberturas de información, imágenes satelitales, herramientas de geoprocésamiento o rutinas de programación y productos cartográficos); el arreglo físico y espacial entre estos elementos definió la estructura y forma con que el SIG fue creado y finalmente, la relación que existe entre estos elementos dentro de esa estructura, lo que representó el modo de operación y funcionamiento que la herramienta tiene para sentar las bases del MOE sobre los términos de la fase de diagnóstico.

Parte de la composición del SIG lo comprenden una serie de coberturas temáticas que representan la información disponible para cada uno de los sectores considerados dentro del proceso de ordenamiento. Estas coberturas fueron agrupadas según su naturaleza y afinidad dentro de los sectores conservación, pesca industrial, pesca ribereña y turismo. De esta manera se obtuvieron cinco rubros de información que fueron filtrados para la selección de los insumos que determinarían la aptitud ambiental de los cuatro sectores. (Figura 5.2.)

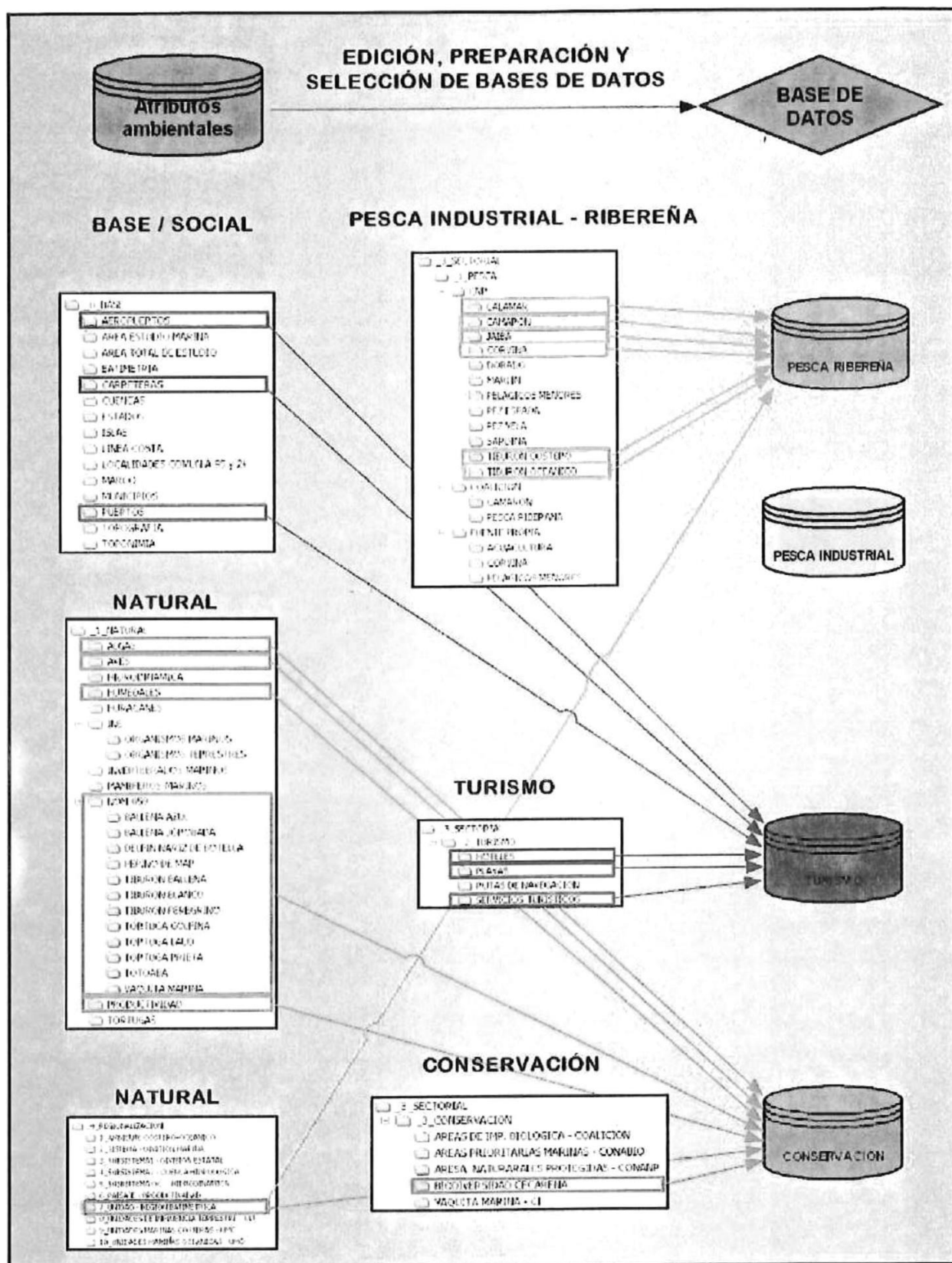


Figura 5.2 Filtrado de los rubros de información básica para la conformación de las bases de datos usadas para la evaluación de aptitud sectorial.

Además de las coberturas de información, también son parte importante dentro del SIG, la serie de rutinas de programación que realizan los análisis espaciales sobre las coberturas base, las normalizaciones para el ajuste de valores a una escala común para hacerlas comparables, así como los cálculos matemáticos de cada modelo de aptitud y de las interacciones entre sectores para diferenciar las áreas de mayor sobreposición de interés humano. Estas rutinas representan procesos o herramientas de geoprocésamiento usadas dentro de la interfaz *ModelBuilder®* para la generación de cada modelo de aptitud y definición espacial de conflictos (Figura 5.3).

```

- def Normaliza_Capa(gp,capa,colref,colnorm):
-     """ Realiza una normalización de los valores de una columna (colref) de la (capa) de referencia
        y los agrega una columna nueva (colnorm) con los valores normalizados """

        vLista=[]

        vLista = ObtenValoresCol(gp,capa,colref)

        minimo = min(vLista)
        maximo = max(vLista)

        #Agrega la columna con valores normalizados
        gp.addfield(capa,colnorm, "double", "4", "5", "9")
        pRows = gp.UpdateCursor(capa)
        pRow = pRows.Next()

        while pRow <> None:
            valor = pRow.GetValue(colref)
            vNorm = (valor - minimo)/(maximo - minimo)
            pRow.SetValue(colnorm,vNorm)
            pRows.UpdateRow(pRow)
            pRow = pRows.Next()

        del pRow
        del pRows
    
```

Figura 5.3. Ejemplo de una rutina de programación en lenguaje *Python®* para normalización de valores en las bases de datos de coberturas de información.

Otro componente del SIG es una plantilla de impresión usada para la representación de resultados e información geográfica. Esta es, práctica, ya que atiende la necesidad de obtener productos impresos a pequeña escala (1:3,600,000) para generar productos cartográficos manejables para la revisión e incorporación de los resultados temáticos cartográficos y de las diferentes versiones o escenarios creados de aptitud sectorial (Figura 5.4).

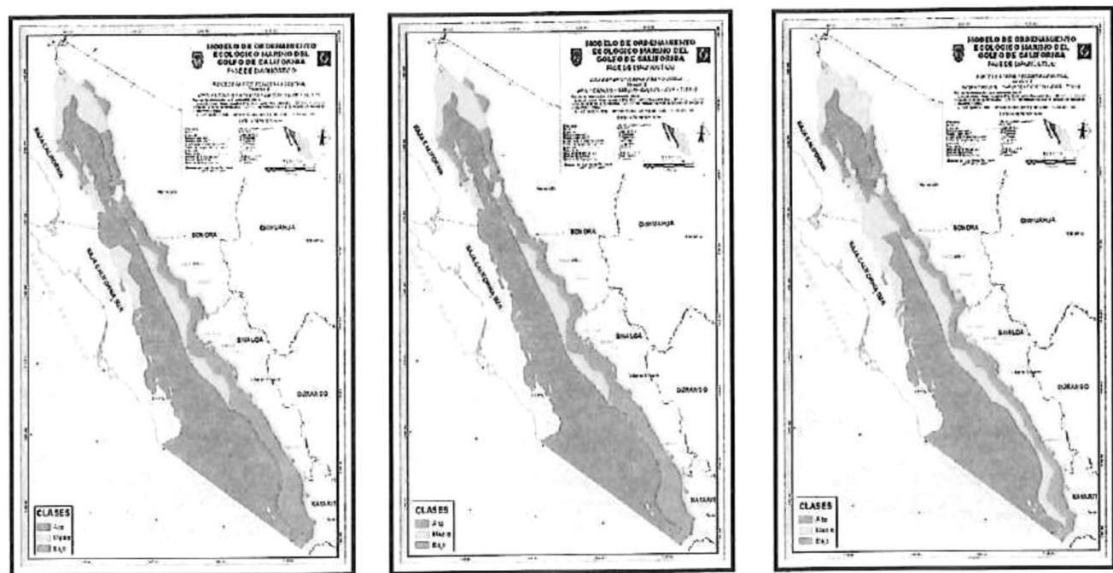


Figura 5.4 Ejemplo de la plantilla de impresión ilustrando diferentes versiones de mapas de aptitud del sector pesca ribereña a pequeña escala.

La estructura de los archivos o coberturas temáticas usadas por el SIG guarda una estrecha relación con las etapas de desarrollo del MOE del Golfo de California, ya que toda la información se encuentra físicamente distribuida dentro de carpetas que poseen cierta similitud con la estructura dentro del SIG y obedece, en cierta medida, a las diferentes fases en las que se desarrolló el

ordenamiento. Tanto la estructura el SIG como de los archivos presentan un arreglo de seis carpetas en las que secuencialmente se ordenó la información de la siguiente manera:

Base: Información de referencia básica cartográfica (divisiones políticas, localidades, vías de comunicación, topografía, batimetría, toponimia, etc.).

Natural: Información de tipo natural tanto biótica como abiótica (física, biológica, flora, fauna, fenómenos naturales, etc).

Social: Información alusiva a datos socio-económicos (localidades, población, usos de suelo, comunidades indígenas, etc)

Sectorial: Información desglosada en función de los diferentes sectores considerados para el estudio (pesca: industrial y ribereña, acuacultura, turismo, conservación).

Zonificación: Productos del proceso de superposiciones temáticas cartográficas que definieron unidades marinas usadas como entidades de manejo. Incluye unidades costeras, oceánicas y de influencia terrestre.

Con el fin de ilustrar la estructura general de archivos que representan las coberturas de información temáticas, en la figura 5.5 se presenta, a manera de ejemplo, el arreglo de las carpetas y sus respectivos contenidos.

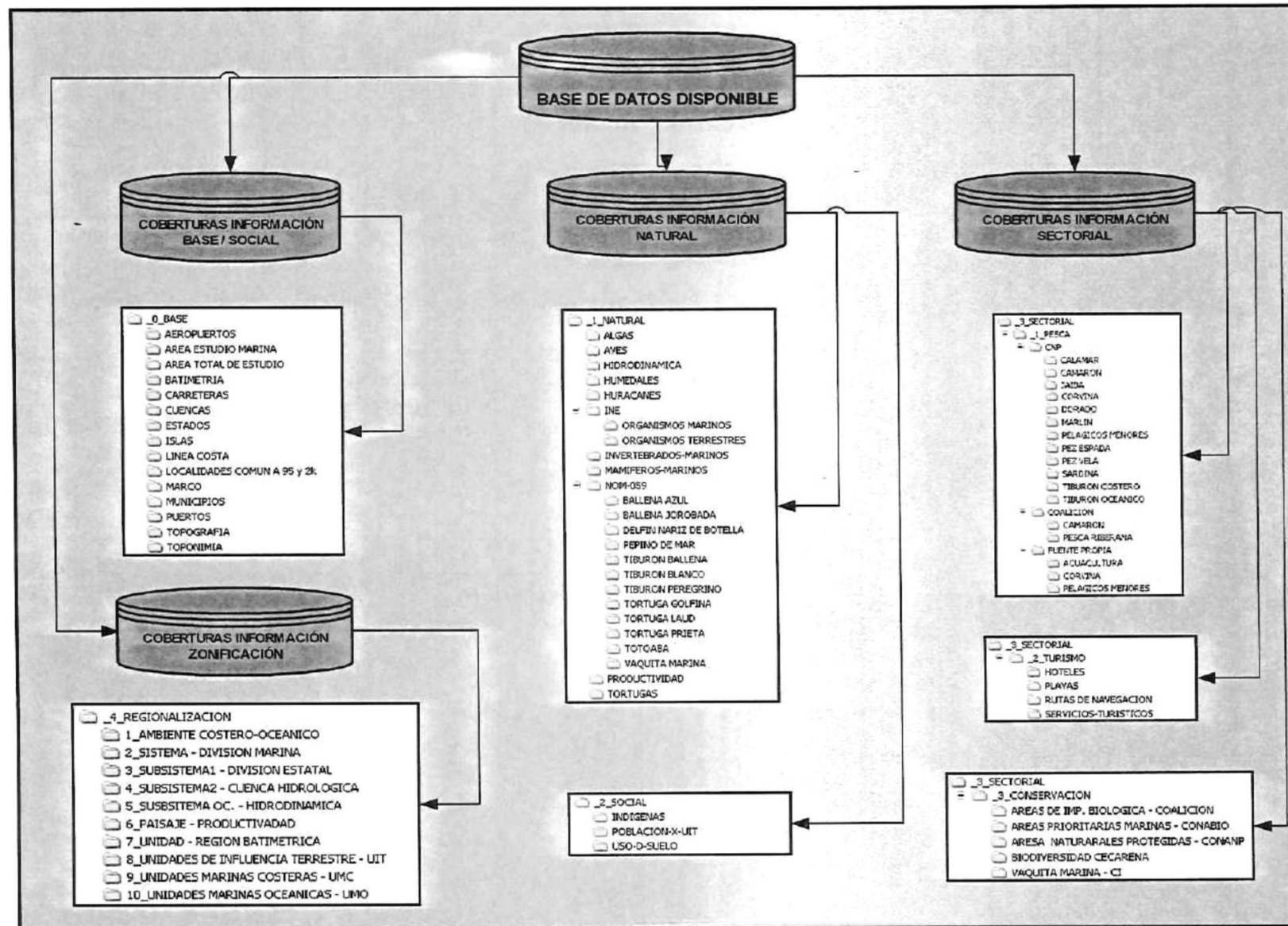


Figura 5.5. Estructura general de los archivos de coberturas de información del Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino.

Respecto a la estructura del SIG, se procuró conservar el mismo arreglo de las carpetas de archivos excepto por el orden. Cada una de las capas temáticas es agrupada en distintos rubros en función de su contenido (Natural, Social, Sectorial, Zonificación, Aptitud Sectorial) y sólo para fines ilustrativos también se presentan otros rubros de información (presión marina-costera, fragilidad, vulnerabilidad y unidades de gestión) asociados a las fases de pronóstico y propuesta del un MOE.

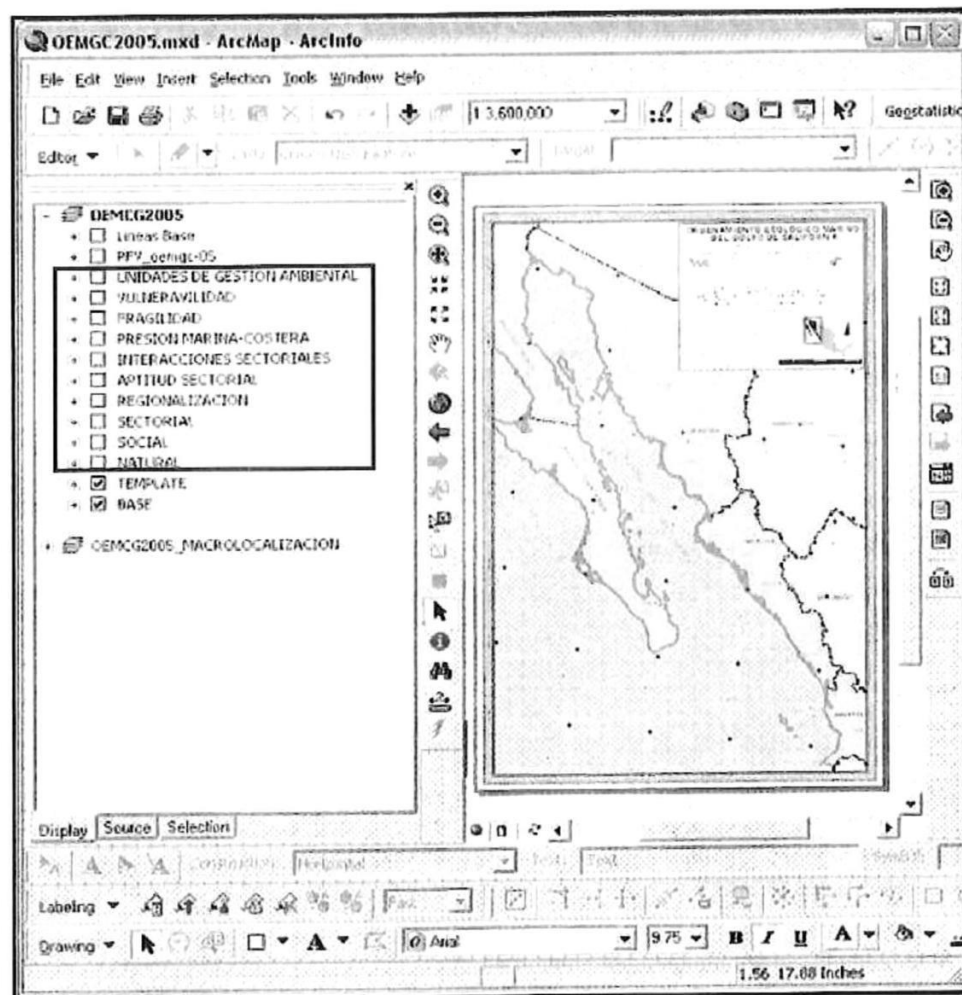


Figura 5.6. Estructura de los grupos de información en el SIG del Modelo de Ordenamiento Ecológico.

La información base se presenta sintetizada en un grupo llamado "*Template*" el cual posee un arreglo tal que permite el adecuado despliegue y visualización de la información temática de referencia básica que siempre estará visible en la plantilla de impresión.

El diseño del MOE cuenta con un segundo conjunto de información geográfica en la parte inferior de su contenido, la cual es usada para establecer la macrolocalización del Golfo de California en el contexto geográfico mundial. Cabe mencionar que existen capas de información duplicadas dentro del SIG para mejorar o resaltar cierta información al momento del despliegue para su impresión, por ejemplo, líneas base, línea de costa, islas, etc.

Como parte del funcionamiento del SIG, todos los grupos de capas de información permiten la interacción para la visualización de la información al activar (palomear) los recuadros de los niveles inmediatos superiores. Sin embargo, la mayor funcionalidad del SIG del MOEM, reside en la interacción del usuario con las herramientas de modelaje desarrolladas para la evaluación automática de los modelos de aptitud sectorial.

Una de las innovaciones dentro del uso de esta herramienta fue el hecho de prescindir de programas externos de hojas de cálculo como lo es *Office Excel*® para realizar los cálculos de indicadores ambientales y las ecuaciones de evaluaciones de aptitud así como la normalización de datos. Este proceso,

implica la importación y exportación de archivos fuera y dentro del SIG dificultando su manejo. Por esta razón, se simplificó el proceso a través del uso de la interfase *Model Builder*[®] del modulo *ArcTools*[®] embebido dentro de la paquetería *ArcGis*[®], lo cual permitió incorporar este aspecto metodológico dentro de un mismo ambiente o paquete computacional, evitando así la generación de archivos aislados y errores en su manejo.

Un aspecto importante del SIG sobre su funcionalidad, es que las herramientas de modelaje fueron diseñadas para ser transferibles y operables en cualquier equipo que disponga de la paquetería con la que fueron creadas (*ArcGIS*[®] 9.0). El paquete de herramientas incluye los archivos de coberturas de información necesarios para ejecutar cada modelo de aptitud, así como las rutinas para la definición espacial de áreas de conflictos intersectoriales y entre todos los sectores.

5.3 MODELOS TÉCNICOS Y COMPUTACIONALES DEL SIG

Una de las virtudes de la incorporación de la fase de diagnóstico del proceso de ordenamiento dentro de un SIG, fue la facilidad de crear modelos de geoprocesamiento y simulación embebidos en el sistema, capaces de reproducir secuencialmente cada tarea de geoprocesamiento en las coberturas temáticas de información, desde el dato crudo hasta la obtención de indicadores

e índices ambientales. Algunos de estos procesos o herramientas se crearon a través de rutinas de programación adaptadas a los modelos de aptitud sectorial.

Estos modelos representan el mayor aporte a los resultados de este trabajo ya que permiten el control de los parámetros usados para cada modelo de aptitud. Primero en cuanto al peso asignado a cada componente de los modelos reflejando su importancia relativa, y segundo, a través del uso de distintas versiones o fuentes de información relacionadas a cada componente, donde dichas versiones pueden variar en distribución o temporalidad dando cierto dinamismo a los modelos de aptitud en términos de la creación de diversos escenarios. Esto, permite entender el efecto de la ponderación, o bien el efecto del tipo, origen, calidad o temporalidad de los datos de insumo empleados para cada escenario.

El tiempo de ejecución de los modelos de la herramienta informática-computacional, con aplicación en procesos modelación y asistencia en la gestión y evaluación ambiental intersectorial, es un aspecto de gran relevancia si se considera que por medios tradicionales la obtención de cada indicador e índice para definir una aptitud territorial puede llevar varias horas de minucioso trabajo y errores durante el manejo de la información entre diferentes archivos y versiones.

Una consideración importante durante la operación de los modelos de simulación, es el hecho de ajustar el formato de las coberturas de insumo a los requerimientos necesarios relacionados al nombre del archivo y contenido de dichas coberturas, ya que de lo contrario, la funcionalidad de estos modelos se vería limitada o incompleta. Como punto de referencia para las especificaciones de las coberturas que se deseen cambiar, se puede consultar el anexo de este trabajo, donde se podrá encontrar un formato de uso.

Los modelos de simulación se encuentran embebidos dentro de lo que se conoce como una "caja de herramientas" (o *Toolbox*), el cual se conforma de un archivo en el que se concentran todos los modelos computacionales y herramientas usados por el SIG del MOE, así como las herramientas personalizadas de programación de apoyo para estos modelos.

Los 22 modelos y herramientas pueden ser agrupados en seis rubros, dependiendo de los parámetros que controlan para cada modelo sectorial (ver Figura 5.7). Los primeros cuatro están asociados a la evaluación de la aptitud sectorial (recuadros negros, azules, rojos y grises); el quinto establece las interacciones entre sectores (recuadros verdes) y el sexto contiene las herramientas de apoyo necesarias para el funcionamiento de todos los anteriores (recuadros amarillos).

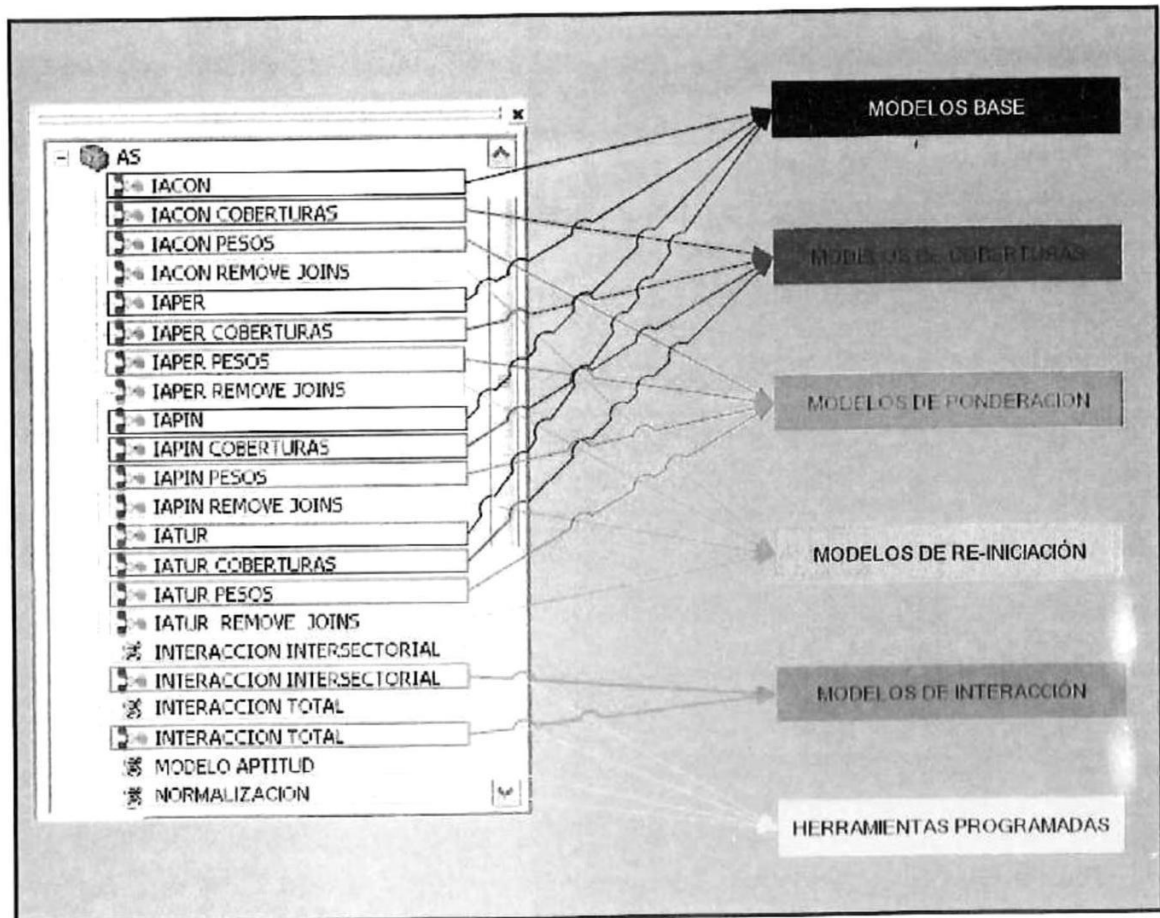


Figura 5.7 Caja de herramientas en *ArcTools* y tipos de modelos desarrollados para el control de pesos, coberturas e interacciones entre sectores.

Cada uno de los modelos de la caja de herramienta permite la interacción con el usuario para el control de parámetros a través de unas ventanas de dialogo (provistas de una sección de ayuda) en las que se definen los valores con los que será ejecutado cada modelo. Estos modelos tienen como resultantes una cobertura nueva de las unidades marinas de regionalización con sus respectivos valores de aptitud por unidad, la cual es agregada automáticamente a la lista de coberturas o tabla de contenidos del SIG con un nombre que define el tipo de modelo y los pesos-valor usados y la fecha de su generación. Para la

visualización del mapa es necesario editar la leyenda respecto a las tres clases (alto, medio y bajo) de valores de aptitud. A continuación se realiza una breve descripción de estos modelos y sus tres respectivas versiones por sector.

5.3.1 Modelos Base de Aptitud

Los *Modelos Base* (*IACON*, *IAPER*, *IAPIN* y *IATUR*) obtienen la aptitud por sector con valores de coberturas y ponderaciones predeterminados, por lo que estos parámetros no pueden ser editados directamente para este tipo de modelos.

5.3.2 Modelo Base de Aptitud de Pesca Ribereña.

El modelo de aptitud de pesca ribereña se constituye de un total de 81 procesos con sus respectivos parámetros y son ejecutados en un tiempo aproximado de ocho a nueve minutos (Figura 5.8). Contiene siete líneas de procesamiento, una para cada uno de los atributos consideradas en el modelo teórico de indicadores. Algunos de los geoprosesamientos que involucra son: intersecciones, selecciones, uniones, duplicaciones, agregación y remoción de campos, normalizaciones y cálculo de aptitud.

En términos genéricos las líneas de geoprosesamiento de este modelo base siguieron la siguiente lógica para su operación:

- 1) cada base de datos de los atributos fue asociada a la zonificación para determinar en qué unidades marinas existían pesquerías;
- 2) en aquellas donde existía presencia de pesquerías, se estimó su área y estos registros se agregaron o unieron al total de las 123 unidades marinas.
- 3) con el dato de la superficie de cada pesquería se estimó la proporción de áreas de pesca en cada unidad marina,
- 4) después, todos los datos fueron normalizados para obtener los valores que representarían a los indicadores de cada pesquería ribereña y,
- 5) finalmente cada indicador fue empleado como insumo para alimentar a la herramienta de "Modelo de Aptitud" la cual ejecuta el modelo matemático de indicadores y determina el índice de aptitud del sector.

La mayoría de los modelos base desarrollados para cada sector operan bajo esta misma lógica, con algunas variantes que dependen del tipo de dato (cualitativo o cuantitativo), y también del tipo de indicador.

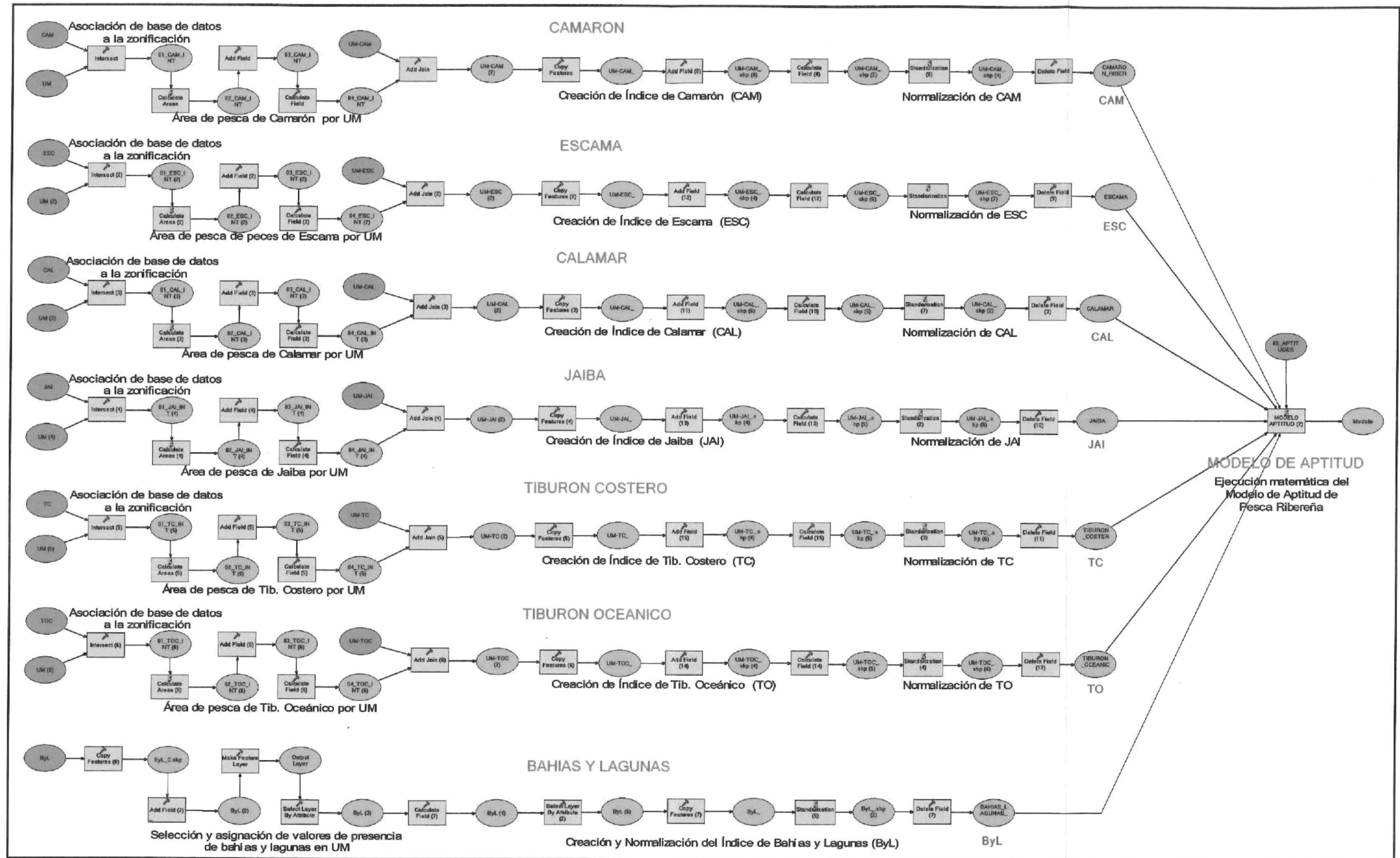


Figura.5.8 Modelo Base de Aptitud de Pesca Ribereña y descripción de los principales geoprocetos.

5.3.3 Modelo Base de Aptitud de Pesca Industrial

El modelo de aptitud de pesca industrial realiza un total de 70 procesos con sus respectivos parametrados en un tiempo aproximado de 11 a 12 minutos (Figura 5.9). Tiene seis líneas de procesamiento de coberturas y opera de manera homóloga al modelo de aptitud de pesca ribereña, ya que el tipo de información de insumo es similar y también representa las áreas de pesca industrial contempladas en el modelo teórico de indicadores.

5.3.4 Modelo Base de Aptitud de Conservación

El modelo de aptitud de Conservación contiene 81 procesos con sus respectivos parámetros y se ejecuta en un tiempo de ocho a nueve minutos (Figura 5.10). Se conforma de siete líneas de geoprocesamiento, tres de ellas (biodiversidad, aves y algas endémicas) conservan la misma lógica aplicada en los de pesca ribereña e industrial debido al tipo de dato que representan (distribuciones espaciales de atributos ambientales). Respecto al geoprocesamiento de atributos como el de productividad, se consideró el valor de concentración de pigmentos del 1 al 5 (por ser 5 las clases usadas para caracterizar la productividad) y de 1 o 0 para la presencia o ausencia de bahías y lagunas en cada unidad marina. El geoprocesamiento para los atributos de humedales y especies con estatus resultó más complejo debido a que el tipo de

dato por asignar a las unidades marinas, provenía de bases de datos terrestres. Esta condición implicó la selección de atributos por su ubicación geográfica (contacto con polígonos adyacentes), la asociación de éstos a las unidades costeras de la zonificación y una base datos auxiliar como procesos previos al cálculo del respectivo indicador.

5.3.5 Modelo Base de Aptitud de Turismo

El modelo de aptitud de turismo genera 109 procesos entre ocho y nueve minutos y resulta ser el más complejo ya que varios de los insumos que utiliza provienen de atributos terrestres contenidos en las unidades de influencia terrestre (UIT's) antes mencionadas. Sin embargo, la misma mecánica de asignación de valores para cada unidad marina fue usada en los atributos de humedales y especies con estatus del modelo de conservación. También fue aplicada para los atributos turísticos terrestres de aeropuertos, caminos y hoteles. Tanto atractivos naturales como servicios turísticos y puertos, sólo implicaron la presencia o ausencia de los atributos marinos y la sumatoria de varios atributos presentes en una misma unidad. En general este modelo se obtuvo a partir de una combinación de todos los geoprocesos mencionados en los modelos anteriores (Figura 5.11).

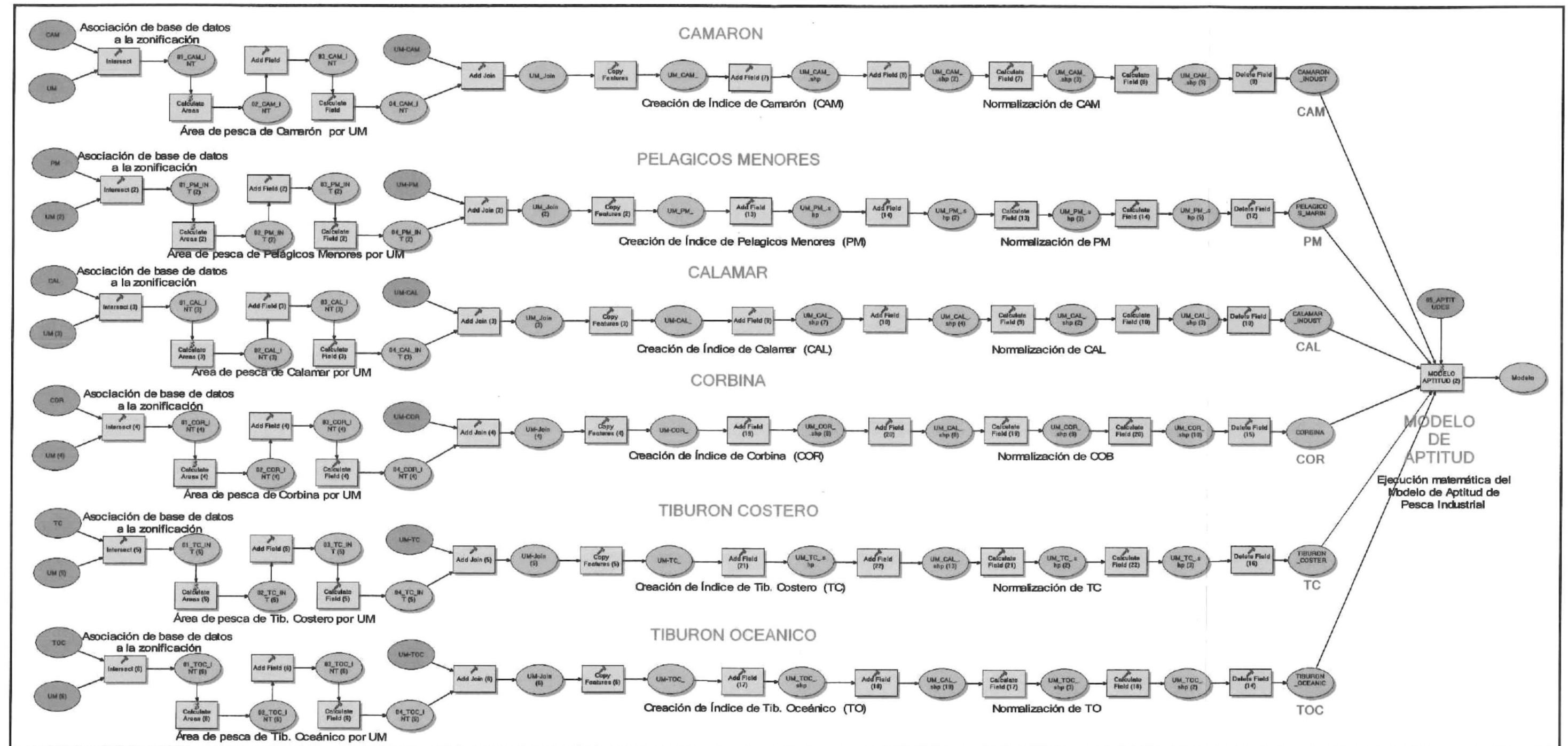


Figura 5.9 Modelo Base de Aptitud de Pesca Industrial y descripción de los principales geoprocesos.

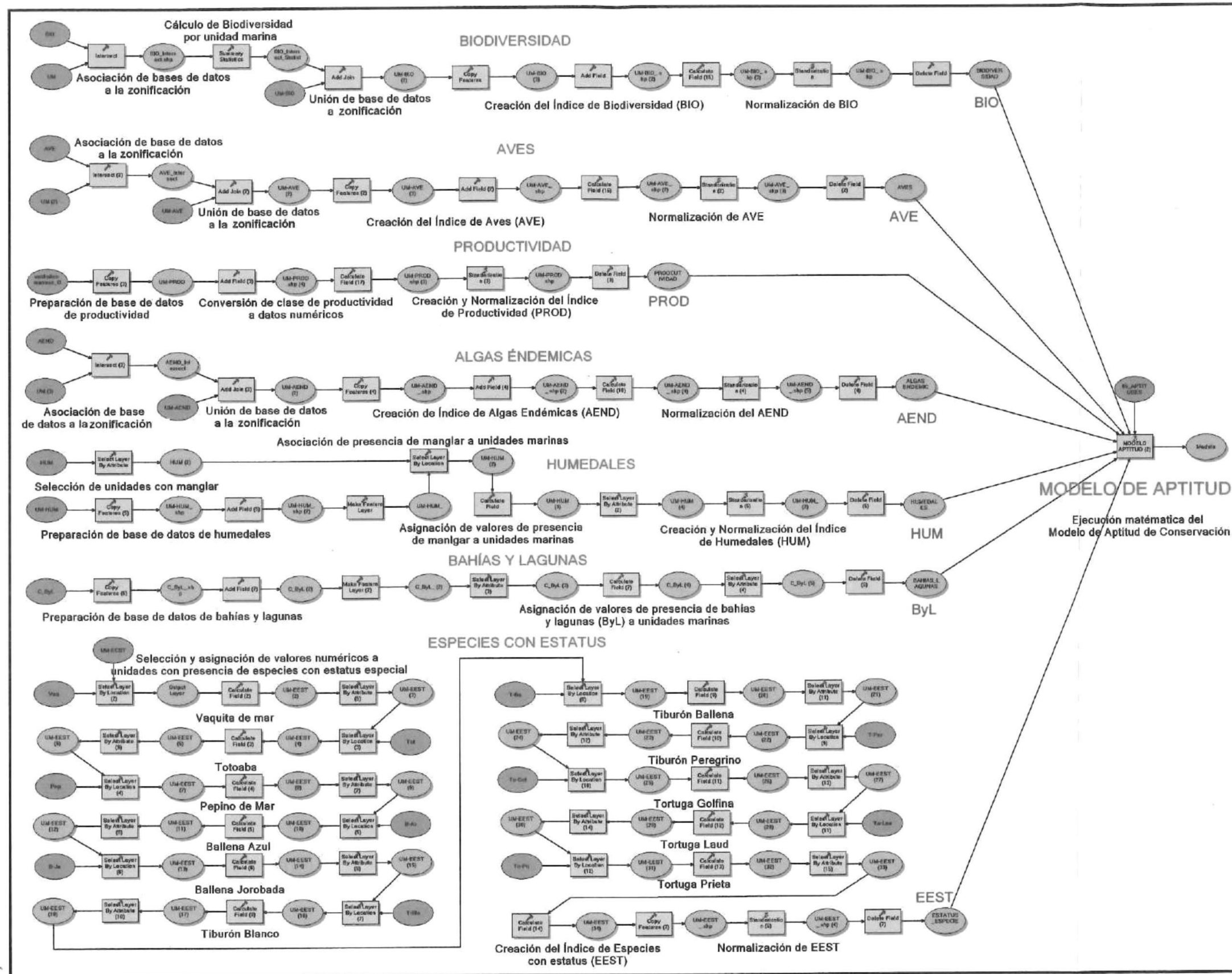


Figura 5.10 Modelo Base de Aptitud de Conservación y descripción de los principales geoproses.

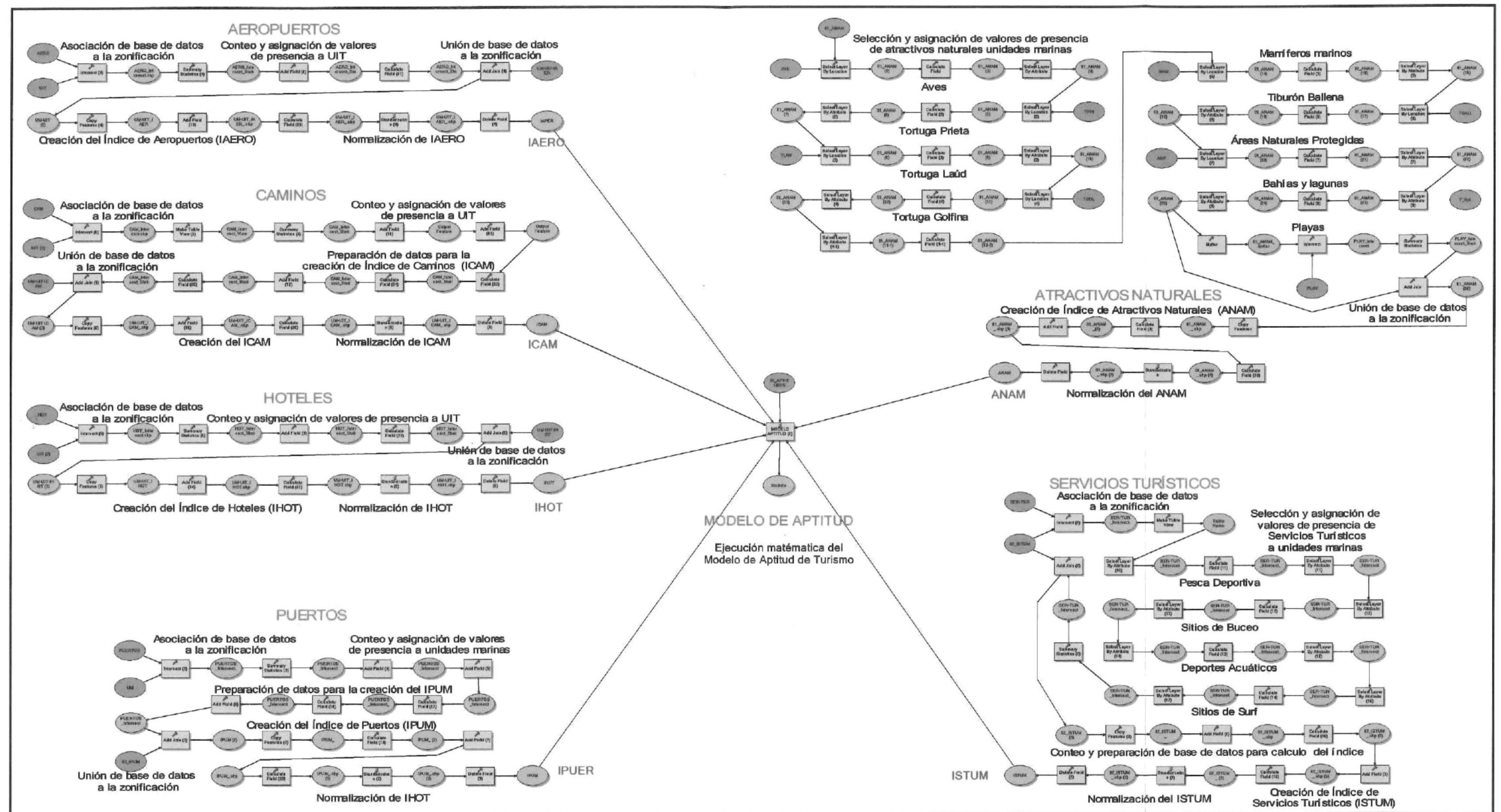
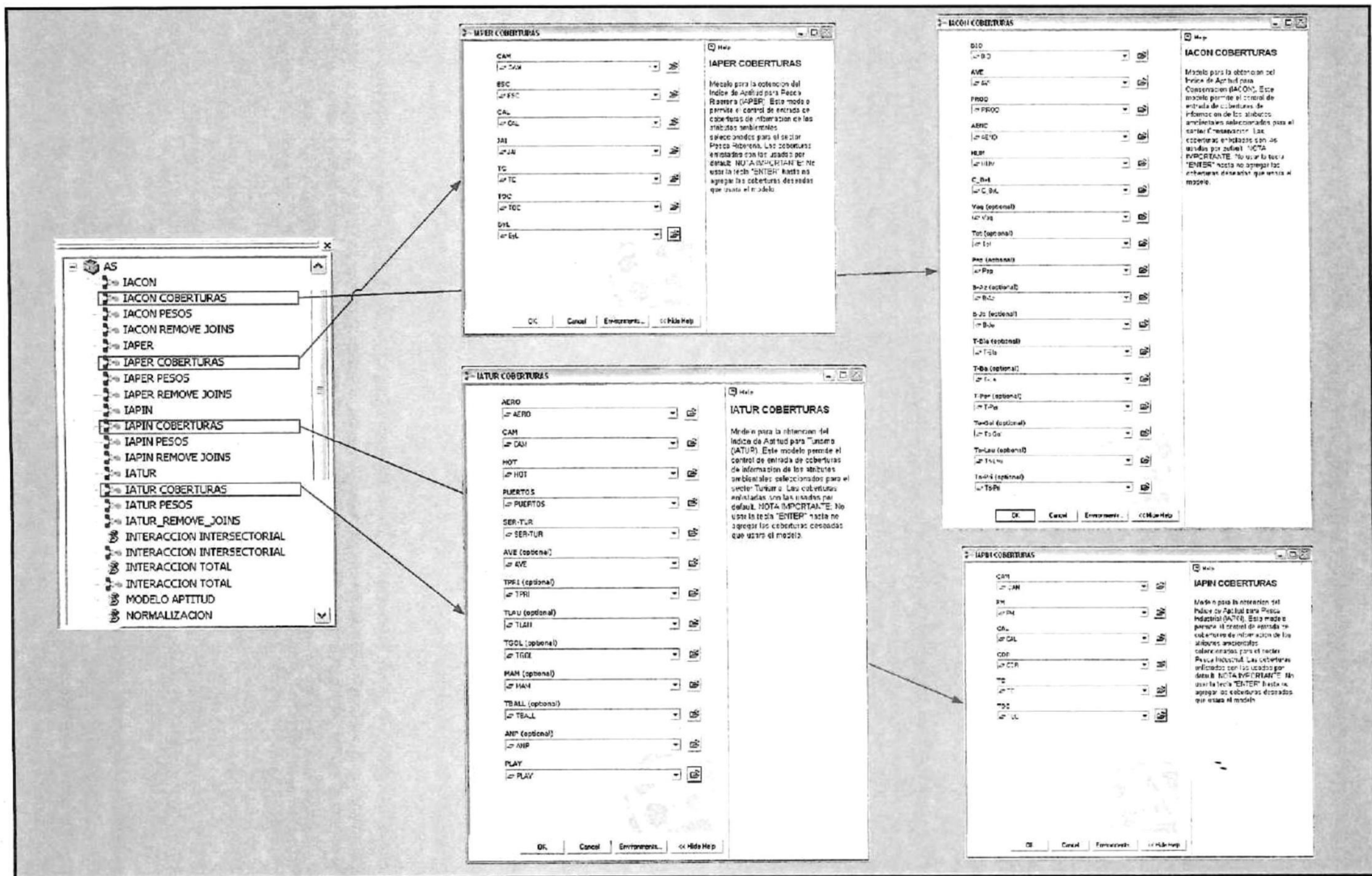


Figura 5.11 Modelo Base de Aptitud de Turismo y descripción de los principales geoprocursos.

5.3.6 Modelos de Coberturas

Los *Modelos de Coberturas* (*IACON_COBERTURAS*, *IAPER_COBERTURAS*, *IAPIN_COBERTURAS* y *IATUR_COBERTURAS*), evalúan la aptitud y permiten el control de las coberturas de entrada usadas para cada sector. Estas coberturas deben cumplir con las características de los archivos digitales anexados en términos de proyección, nombre de la cobertura, y número de registros y columnas de la base de datos. La resultante de estos modelos son una nueva cobertura con las unidades marinas, la cual es agregada automáticamente a la lista de coberturas o tabla de contenidos del SIG con un nombre que define el tipo de modelo y sus respectivos valores de ponderación (predefinidos), usados para su generación según las coberturas de información de insumo, que al igual que en los modelos base tiene que ser editado en su leyenda para su visualización (Figura 5.12).

Cada sector cuenta con su respectiva versión de modelos de coberturas, los cuales, una vez accesibles a través de la caja de herramientas y dependiendo del sector evaluado, despliegan en una ventana de dialogo el listado de las posibles coberturas. Dicha ventana cuenta con un apartado de ayuda para orientar al usuario sobre el objetivo de la herramienta y el modo de entrada de las coberturas o parámetros. Una consideración importante es que al usar esta herramienta, es necesario respetar las características de formato, proyección y base de datos.



5.3.7 Modelos de Ponderaciones

Los *Modelos de Ponderación*: (*IACON_PESOS*, *IAPER_PESOS*, *IAPIN_PESOS* y *IATUR_PESOS*), evalúan la aptitud permitiendo el control de los valores de ponderación de cada componente del modelo matemático de aptitud correspondiente. Estos valores deben ser agregados en el orden correcto indicado en la ventana de ejecución de cada modelo. La resultante de estos modelos es una nueva cobertura que es agregada automáticamente a la lista de coberturas o tabla de contenidos del SIG y sus respectivos valores de aptitud, según los pesos usados para las componentes de modelo teórico-matemático.

Cada sector cuenta con su respectiva versión de modelo de ponderaciones, dependiendo del sector evaluado. La ventana de diálogo despliega el listado de las posibles coberturas variables para ejecutar el respectivo modelo, dicha ventana cuenta con un apartado de ayuda para orientar al usuario sobre el objetivo de la herramienta y el modo de entrada de las coberturas o parámetros.

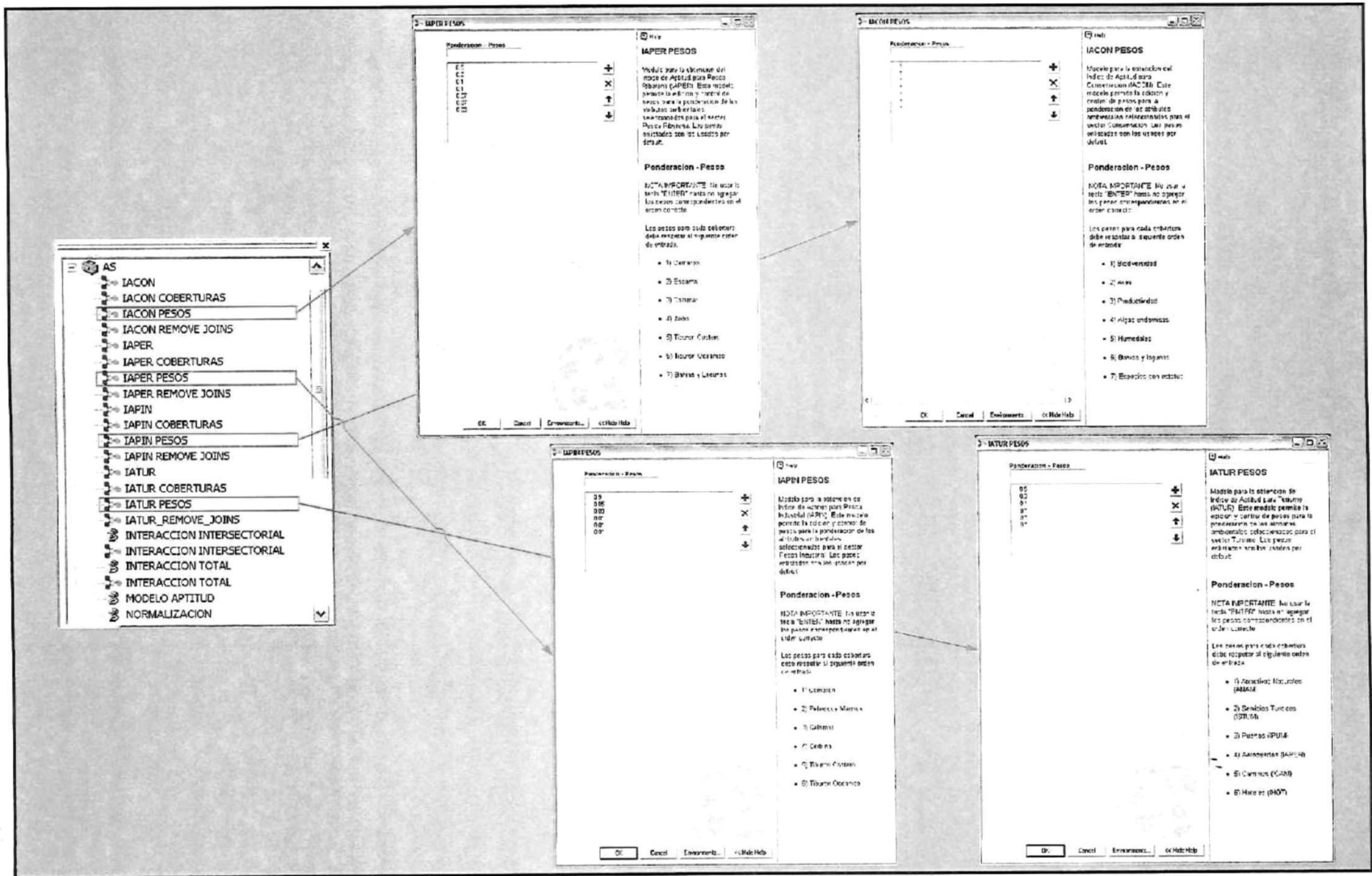


Figura 5.13 Modelos de control de Ponderaciones para aptitudes sectoriales

5.3.8 Modelos de Re-iniciación

Los *Modelos de Re-iniciación* (*IACON_REMOVE_JOINS*, *IAPER_REMOVE_JOINS*, *IAPIN_REMOVE_JOINS*, *IATUR_REMOVE_JOINS*), son creados para ser ejecutados después de correr cualquier otro modelo de su tipo, con el fin de regresar a un estado inicial donde algunos de los archivos quedan abiertos por procesos de unión (*Joins*). Estos modelos no regresan ninguna cobertura resultante, sin embargo, de no ser ejecutados causan problemas en cualquier versión de los modelos base, de coberturas o ponderaciones en corridas futuras.

5.3.9 Modelos de Interacción Sectorial

Para el caso de las interacciones por pares sectoriales, el efecto acumulativo de los valores de aptitud de cada unidad ambiental entre dos sectores establece una diferenciación de aquellas unidades de mayor o menor interacción, sobre las cuales la existencia de sinergias o conflictos puede ser probable o posible. De manera homóloga a la interacción intersectorial, el efecto acumulativo de todos los sectores define las unidades de mayor interacción global sujetas a sinergias o, más posiblemente, conflictos intersectoriales (es decir, unidades de mayor atención para su gestión o aprovechamiento).

A través de los productos cartográficos obtenidos en el apartado de interacciones sectoriales, donde se representan geográficamente áreas donde existen concurrencia de intereses sectoriales, es posible asociar geográficamente y en aquellas de mayor interacción, una descripción detallada del tipo, características, actores involucrados o demás información disponible sobre conflictos identificados por medio de otros métodos (talleres sectoriales, consultas públicas, entrevistas, etc), contribuyendo así a dirigir los esfuerzos de su resolución sobre áreas que demanden mayor atención.

Los *Modelos de Interacción* (*INTERACCION_INTERSECTORIAL* y *INTERACCION_TOTAL*), ejecutan la ecuación matemática aditiva por unidad ambiental de los valores de aptitud entre pares de sectores y entre todos los sectores. La resultante de este modelo es una nueva cobertura con las unidades marinas de la regionalización que es agregada automáticamente a la lista de coberturas o tabla de contenidos del SIG con los valores sumados de las dos o cuatro aptitudes. (Ver figura 5.14). El nombre de estas nuevas coberturas incluye los tipos de modelos empleados con sus respectivos pesos de ponderación y la fecha de su generación. Al igual que los modelos anteriores, para la visualización del mapa, es necesario editar la leyenda respecto a las tres clases (alto, medio y bajo) de valores de aptitud.

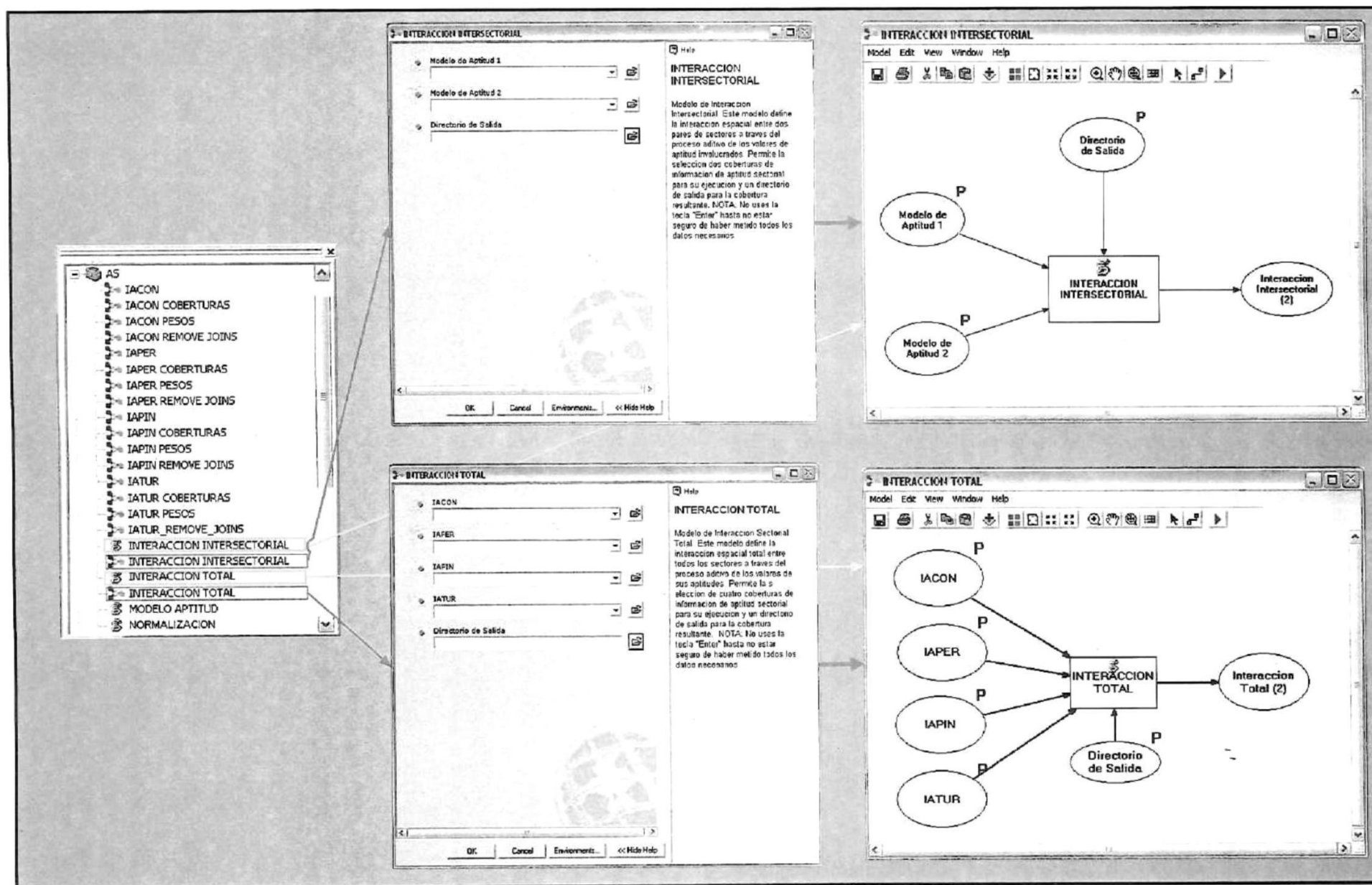


Figura 5.14. Modelos de Interacciones para aptitudes sectoriales

5.3.10 Herramientas programadas / personalizadas

Las *Herramientas Programadas*: *NORMALIZACIÓN*, *MODELO APTITUD*, *INTERACCIÓN INTERSECTORIAL* y *INTERACCIÓN TOTAL*. Representan cuatro rutinas de programación en lenguaje *Python®* desarrolladas e integradas en el SIG que son requeridas para procesos de normalización de datos, ejecuciones de los distintos modelos matemáticos de aptitud, así como para la ejecución de la ecuación aditiva de los valores de aptitud para las interacciones sectoriales. El usuario no tiene ninguna interacción con ellas, ya que son usadas de manera indirecta durante la ejecución de cualquier tipo del modelo de aptitud. La edición o modificación de estas herramientas requiere del conocimiento sobre el lenguaje de programación. En la figura 5.3, se muestra un ejemplo de este tipo de herramientas.

5.4 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS Y AUTOMATIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO.

La parte importante en el desarrollo de los modelos de simulación es el proceso de validación, a través del cual los productos generados son comparados y verificados respecto a otros resultados obtenidos por otros medios bajo el mismo concepto de indicadores y de los modelos de aptitud. Un trabajo útil para esta tarea es el que fue empleado como referencia en el Ordenamiento Ecológico del Golfo de California.

Con el fin de realizar una validación de los productos de este trabajo, a continuación se presenta una comparación entre los productos cartográficos del diagnóstico obtenido y aquellos generados con los métodos tradicionales para el proyecto del OEMGC (figuras 5.15-18). Como se puede apreciar, la similitud de resultados entre ambas versiones es muy similar y las discrepancias existentes con los productos del OEMGC pueden deberse a variantes en las bases de datos como son el tamaño de las clases.

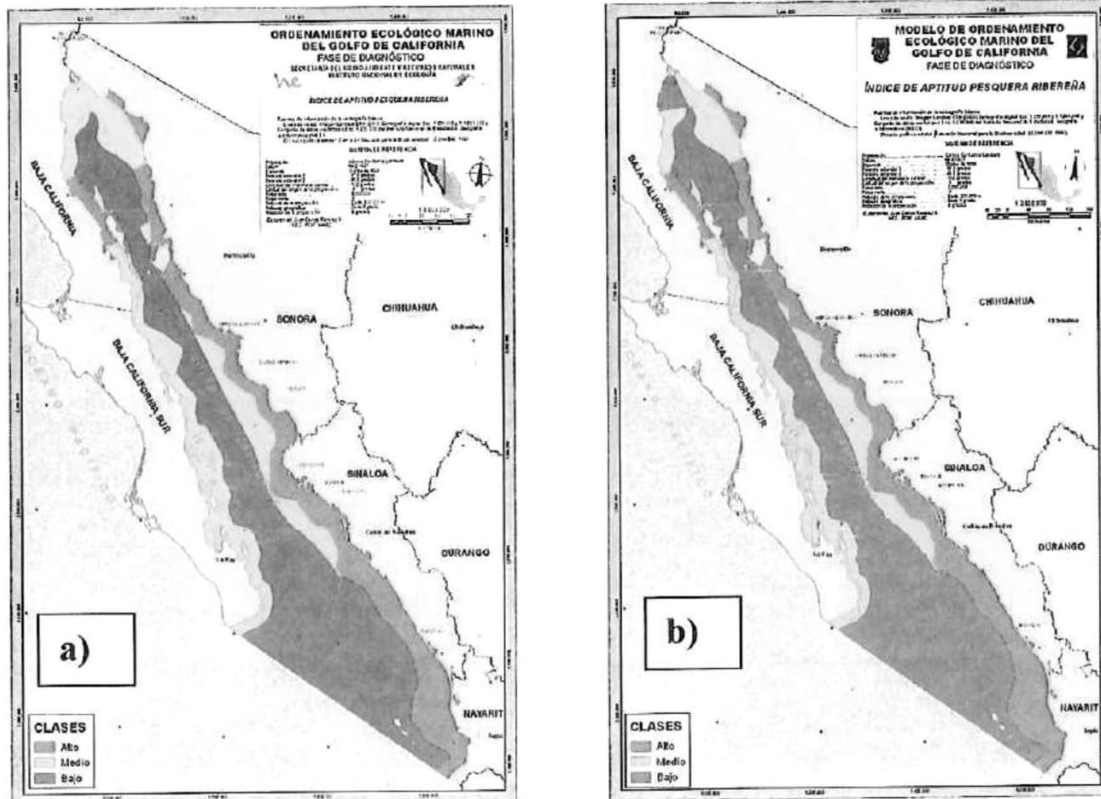


Figura 5.15. Aptitudes Pesca Ribereña (OEMGC – a) y presente trabajo – b)).

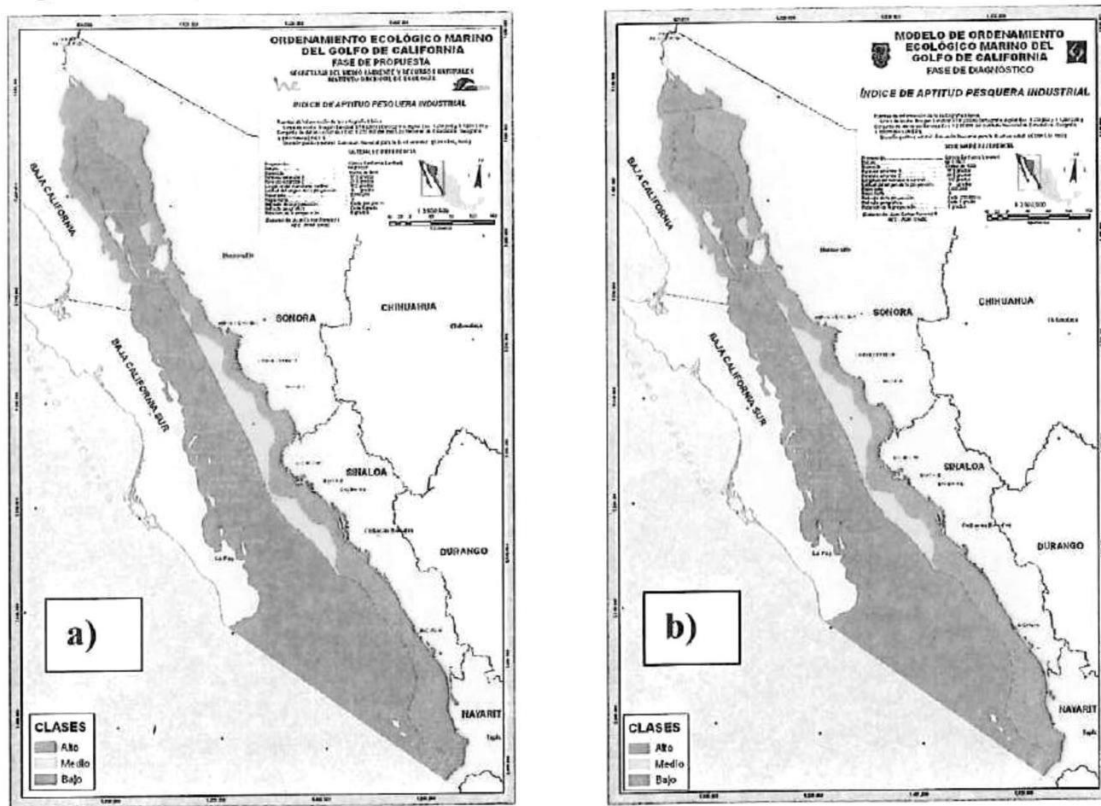


Figura 5.16. Aptitudes Pesca Industrial (OEMGC –a) y presente trabajo – b)).

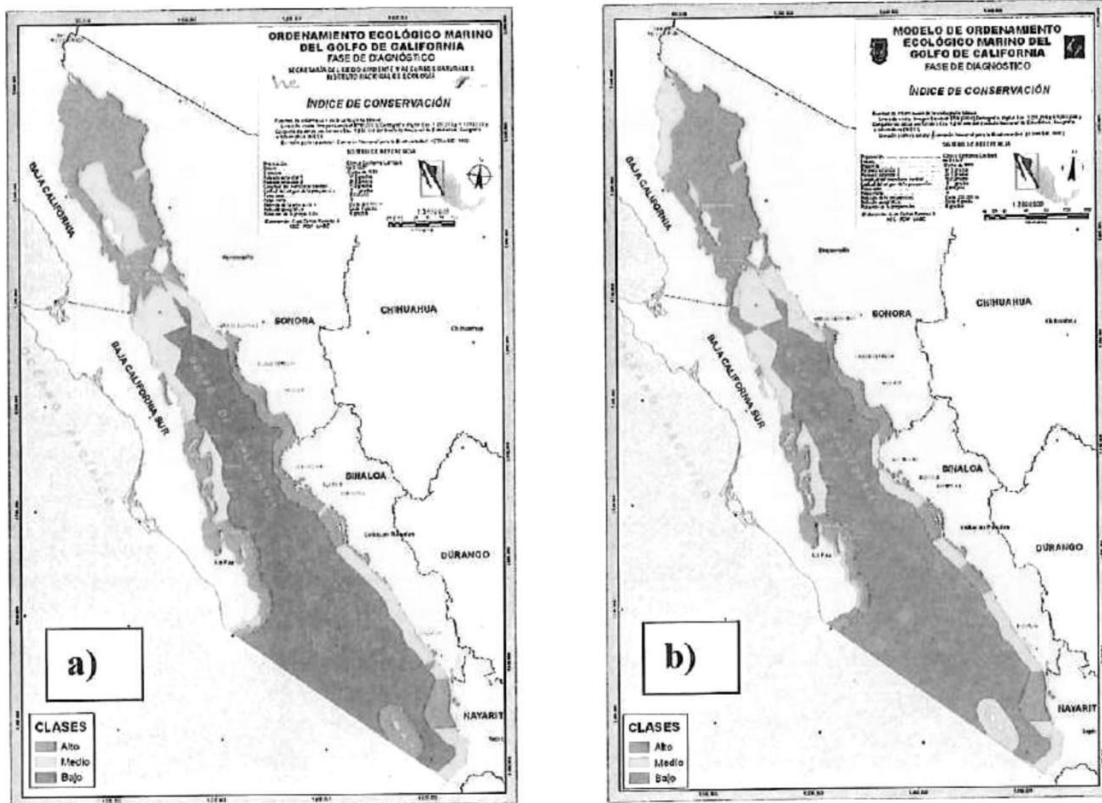


Figura 5.17. Aptitudes de Conservación (OEMGC – a) y presente trabajo – b)).

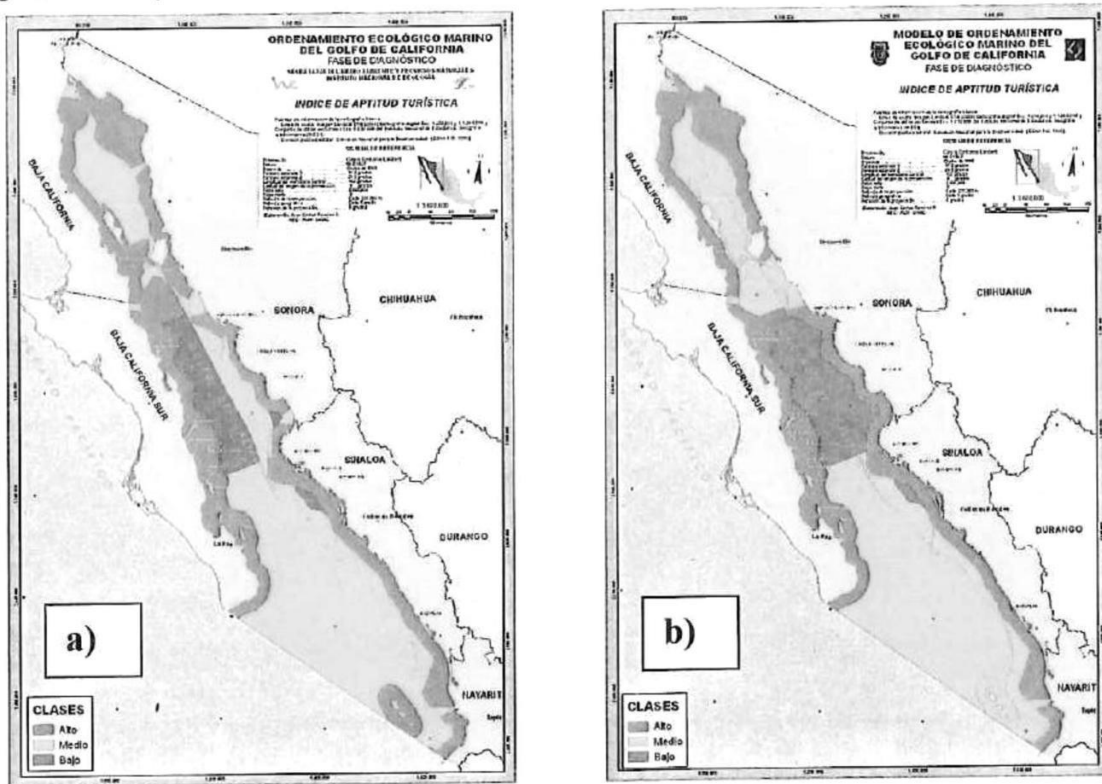


Figura 5.18. Aptitudes de Turismo (OEMGC – a) y presente trabajo – b)).

6. DISCUSIÓN.

6.1 DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE AUTOMATIZACIÓN

Una ventaja para el diseño de esta herramienta, fue partir de un modelo ya terminado con una base de datos ya creada. Los MOE de éste tipo han sido comúnmente usados en otros sitios o a otras escalas (Espejel *et al.* 2004; García-Gastelum 2006, Arredondo, 2006; SEMARNAT, 2006).

El proceso de automatización aplicada a MOE no se encontró que estuviera documentado en la bibliografía reciente. (ESRI y GIS USER). Se sugiere adaptar la información de insumos, (específicamente la zonificación) a otros casos de estudio para corroborar el correcto funcionamiento de toda la herramienta y la validez de su uso como herramienta estándar de geoprocésamiento y apoyo en la fase de diagnóstico de futuros ordenamientos ecológicos.

El diseño consta de un ensamblaje de herramientas de geoprocésamiento, simples y compuestas, especiales y de manera secuencial, que permite la creación de modelos computacionales de simulación que, de manera dinámica y adaptativa, logra una aproximación a la evaluación de la aptitud sectorial. No se encontraron informes técnicos de OE en los cuales se hayan automatizado los modelos teórico-matemáticos de indicadores e índices que apoyan la construcción y toma de decisiones. De acuerdo a lo que sugieren McCoy (2004)

y Maguire et al (1991a y 1991b) en la herramienta diseñada, se consideró la construcción de modelos de geoprocesamiento dentro de un SIG, porque ayuda a controlar su complejidad en distintas formas:

- Sus procesos y la interrelación entre ellos se vuelve explícita, permitiendo actualizarlos dinámicamente siempre que se necesite realizar un cambio.
- Permite definir y controlar los valores para los parámetros de cada proceso, así como registrar esta información, haciendo fácilmente repetible el resultado del modelo
- Permite reestructurar el modelo al agregar y borrar procesos o cambiar la relación entre ellos.
- Permite editar los parámetros de cada modelo de simulación para experimentar con diferentes resultados alternativos o escenarios.

Una de las limitantes de los modelos de simulación que se desarrollaron en este trabajo, es que no es universal. Es un modelo específico para el caso del Golfo de California, ya que que esta directamente relacionado al diseño del modelo teórico de indicadores, y que pueden ser operado únicamente con el número exacto de elementos que componen a cada modelo de aptitud (seis para IAPIN y IATUR, siete para IAPER y IACON). Por esto, cualquier cambio en la estructura de dichos modelos implicaría una nueva adaptación de la herramienta y por ende de su codificación y modo de operación. Por lo tanto no

es posible incrementar o disminuir el número de indicadores usados para cada modelo de aptitud, ya que este proceso implicaría nuevas líneas adicionales de geoprocесamiento, tantas veces más como indicadores que se desearan agregar.

6.2 *FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO CON RELACIÓN A LOS ELEMENTOS ADAPTATIVO Y PARTICIPATIVO DEL PROCESO DE ORDENAMIENTO*

Los modelos técnicos y computacionales creados como parte de este trabajo atienden los tres elementos (interdisciplina, adaptación y participación) importantes en el proceso de ordenamiento. Las bases de datos que se manejan provienen de distintas disciplinas y fueron seleccionadas y ponderadas por expertos de diferentes sectores. El proceso completo es *adaptativo* porque permite una continua retroalimentación de los análisis y es *participativo* porque involucra la percepción social a través de actores representativos durante todo el proceso de ordenamiento (Fermán-Almada, 2007).

Por lo tanto esta herramienta fue creada para considerar la posibilidad: i) de usar diferentes valores en los pesos o ponderaciones de cada elemento del modelo de aptitud y, ii) cambiar o variar las coberturas de información base usadas como insumo para el proceso de evaluación que conforman a cada componente de los modelos de aptitud. Estas consideraciones habilitan a la herramienta para modelar y poder usar información en función de diferentes

fuentes de base de datos, temporalidades o distribuciones espaciales, lo cual le brinda un potencial importante para el análisis e interpretación en la creación de productos cartográficos dinámicos (Andrienkoa *et al.* 2003, Arredondo 2006; García-Gastelum 2006).

La disponibilidad de poder transferir el paquete de herramientas de un equipo a otro, es una característica que le brinda un valor agregado: i) con fines educativos para una mejor comprensión del ordenamiento ecológico en la fase de diagnóstico; y ii) con fines públicos al determinar la importancia de atributos ambientales en reuniones o talleres multi-sectoriales, donde la generación rápida de distintos escenarios facilita y agiliza los procesos de validación o consenso entre distintos actores involucrados. Esto es muy importante porque incluye acciones participativas de consulta, talleres, verificación o validación y el consenso. Este proceso, se considera uno de los principales productos de la herramienta diseñada y aplicada en este ordenamiento.

6.3 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DISEÑADA.

Los mapas obtenidos por el método tradicional y el automatizado en general son similares. Los resultados cartográficos obtenidos por los medios tradicionales (geoprocesos aislados y hojas de cálculo independientes) empleados para el proyecto del Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California se diferencian de los productos automatizados básicamente por el

ancho de las clases de los rangos de clasificación. En el método tradicional, se ajustaron los rangos según los intereses y el consenso de los sectores participantes; en cambio en el proceso automatizado el resultado es neutro, no se modifican los rangos de las clases (se usaron .33 y .66). Tomando en consideración esto, los modelos de simulación de la herramienta diseñada resultan satisfactorios.

7. CONCLUSIONES

El trabajo representa una herramienta pionera de desarrollo tecnológico que establece las bases de los requerimientos técnico-legales para la generación de un Modelo de Ordenamiento Ecológico Marino (que bien pudiera aplicarse al terrestre) hasta la definición de aptitudes sectoriales e identificación “espacial” de conflictos intersectoriales.

Esta herramienta facilita el desarrollo del análisis de aptitud para cada sector e identifica los conflictos ambientales (la concurrencia espacial de actividades sectoriales no compatibles) de una manera sistemática y sencilla, en la cual es fácil rastrear los errores y generar escenarios para visualizar el imaginario deseable, tanto sectorial como colectivo.

Esta herramienta representa un trabajo que incorpora dentro de un sólo *ambiente geográfico computacional* todo el conjunto de procesos y análisis requeridos para alcanzar las metas de un diagnóstico.

La herramienta de análisis y automatización del diagnóstico en conjunto con el sistema de información geográfica, es un instrumento que se interconecta e interactúa con los elementos participativos, interdisciplinarios y adaptativos que se demandan para la operatividad de un proceso de Ordenamiento Ecológico del Territorio.

El diseño de la herramienta y el SIG fue creado de tal manera que permite saber cuales son los diferentes insumos, procesos y productos que se van obteniendo en cada una de las fases del ordenamiento, con el fin de facilitar el análisis en cualquier fase de sus procesos y permitir el control del modo de interacción entre sus elementos durante su funcionamiento global o parcial.

El potencial de uso futuro de esta herramienta tecnológica aplicada al manejo de recursos naturales y gestión ambiental, puede ser probado en otras áreas de estudio en las que se pueda aplicar el mismo concepto del modelo de indicadores usado, y empleando otra regionalización de la zona de estudio.

Dentro de las herramientas desarrolladas en este trabajo, los modelos de cobertura y ponderación tendrán una aplicación directa, ya que cuentan con la opción de variar los insumos de los modelos de aptitud y de sopesar indicadores ambientales según convenga, permitiendo así la evaluación y el ajuste de los resultados para la retroalimentación, la monitorización, la actualización, pero sobretodo para la simulación de escenarios.

8. REFERENCIAS

- Andrienkoa, G., Andrienkoa, N., & Gitis, V. (2003) Interactive maps for visual exploration of grid and vector geodata. ISPRS. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 57, 380– 389.
- Arredondo García C. 2006. Modelo Multi-escalar de Indicadores como herramienta para la Planificación Ambiental en la Región del Golfo de California. Tesis-Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 217 pp.
- Arriaga Cabrera, L., E. Vázquez Domínguez, J. González Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López, V. Aguilar Sierra (coordinadores), 1998. Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Balkey, N.C., 1968. The Delphi method: An experimental study on group opinion. Santa Monica, California: Rand Memorandum 5888 P.R. Rand Corporation.
- Biodiversity Research Center of Californias (BRCC). 2006. Gulf of California. Listed as a World Heritage Site. Sitio Web. [Pagina consultada en Octubre del 2006]. http://www.sdnhm.org/research/readings/gulf_cal.html
- Bourillón, L., A. Cantú, F. Eccardi, E. Lira, J. Ramírez, E. Velarde y A. Zavala, 1988. Islas del golfo de California. SG-UNAM, México, D.F. 292 pp.
- Brusca, C. R., 1980. Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California, 2a. ed., 513 pp.
- Brusca, C.R. 2004. The gulf of California-an overview. en: Brusca, C.R., Kimrey E. y W. Moore (eds.). *A Seashore guide to the Northern Gulf of California*. Arizona-Sonora Desert Museum. Tucson, Arizona, EUA. 203 pp.
- Brusca, C.R. y Hendrickx, M. 2004. Invertebrate biodiversity in the Gulf of California. en: *The Gulf of California, Conference 2004*. Tucson, Arizona, E.U.A.. 173 pp.
- Castrezana, B., 1998. Catálogo de las islas del Golfo de California, Reporte del área de protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California, Oficina Regional en Sonora, CONAP – SEMARNAT.
- Cendrero, A., 1989. Mapping and Evaluation of Coastal Areas for Planning. Ocean and Shoreline Management. Vol. 12, pp. 427-462.

- Cendrero, A. and Fischer D., 1997. A procedure for assessing the environmental quality of coastal areas for planning and management, *Journal of Coastal Research*, 13(3), 732-744.
- Cendrero, A., Frances E., Del Corral D., Fermán J.L., Fischer D., Del Río L., Camino M., and López A., 2003. Indicators and indices of environmental quality for sustainability assessment in coastal areas; application to case studies in Europe and the Americas, *Journal of Coastal Research*, 19 (4), pp. 919-933.
- Christie, P., Lowry K., White A.T., Oracion E. G., Sievanen L., Pomeroy R.S., Pollnac R.B., Patlis J.M. and. Eisma R., 2005. Key findings from a multidisciplinary examination of integrated coastal management process sustainability, *Ocean & Coastal Management*, 48(3-6), pp. 468-483.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Coberturas de Información temática. México.
- Conservación Internacional (CI), 2003. Evaluación Rápida de Corredores Económicos en el Golfo de California (RACE, por sus siglas en inglés), Guaymas, Sonora. México.
- Consultores Internacionales, S.C. y UABC, 2000. Prospectiva del Ordenamiento Ecológico del Territorio del Mar de Cortés. Informe Técnico.
- DOF-SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2004. ACUERDO mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Pesquera (CNP) y su anexo. 15 de marzo del 2004. Diario Oficial de la Federación 15-03-2004, México.
- DOF-SEMAR, 1986. Ley Federal del Mar, Diario Oficial de la Federación, 08-01-1986. México, D.F..
- DOF-SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación 28/01/1988, México.
- DOF-SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), 1995. Norma oficial Mexicana NOM-017-PESC-1994, para regular las actividades de pesca deportiva recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los estados unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación 9/05/95, México.

- DOF-SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 06-03-2002. México, D.F..
- DOF-SEMARNAT, 2003. ACUERDO por el cual se reforma la nomenclatura de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como la ratificación de las mismas previa a su revisión quinquenal. Diario Oficial de la Federación, 23-04-2003. México, D.F..
- DOF-SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2003. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente en materia de Ordenamiento Ecológico. Diario Oficial de la Federación 08/08/2003, México.
- Espejel I. C. León, J.L. Fermán, G. Bocco. F. Rosete, B. Graizbord, A. Castellanos, O. Arizpe y G. Rodríguez. 2004.. Planeación del uso del suelo en la región costera del Golfo de California y Pacífico Norte de México. En: Arriaga Rivera et al (eds.) El Manejo Costero en México. Epomex, Semarnat, CETyS, Univ. de Quintana Roo. 321-340 pp.
- Espejel, I. et al. En prensa. Estrategias metodológicas para el manejo de la costera: Área de Protección de Flora y fauna Valle de los Cirios. Manejo Integral de la Zona Costera; Un Enfoque Municipal. Gobierno del Estado de Veracruz e Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz
- ESRI (2002) *Arc View (Arc View)*: Environmental Systems Research Institute, Redlands. California.
- Fabbri, K.P. 1998. A methodology for supporting decision making an integrated coastal zone management. *Ocean and Coastal Management*. 39: 51-62.
- Fermán-Almada, J.L. 2007. Propuesta de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California. Tesis-Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 200 pp.
- García-Gastelum, A. 2006. Modelo Regional de Vulnerabilidad Costera. Tesis-Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 101 pp.
- Gómez-Morín L. y J.L. Fermán-Almada.1991. Classification System of environmental Units for Land Use and Coastal Planning in Baja

- California, México. Coastal Zone 91. Edited by Orville T. Magoon *et. al.* ASCE. (1):423-430
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 1993 Programa de conservación y manejo. Reserva de la Biosfera alto Golfo de California y Delta del Río Colorado
- INE-SEMARNAP.2000. Ordenamiento Ecológico General del Territorio Memoria Técnica 1995-2000. Mexico, D.F.
- INE-SEMARNAT, 2001a. Coalición para la Sustentabilidad del Golfo de California. "Resultados del Taller para el establecimiento de Prioridades de Conservación de la Biodiversidad del Golfo de California". Hermosillo, Sonora, México: World Wildlife Fund.
- INE-SEMARNAT, 2001b. Coalición para la Sustentabilidad del Golfo de California. PROMETEO "Bases de Datos del proceso para el establecimiento de Prioridades de Conservación de la Biodiversidad del Golfo de California". Hermosillo, Sonora, México: World Wildlife Fund.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2003. Cartografía Impresa, Digital y Vectorial Escala 1:250,000, 1:1,000,000. México.
- Kaly U., Briguglio L., McLeod H., Schmall S., Pratt C., Pal R. (1999) Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national environmental vulnerability profiles. SOPAC. 66 pp.
- León, C y B. Graizbord (Coords), 2002. Bases para el Ordenamiento Ecológico de la Región de Escalera Náutica (Componente Social y Económico), Informe final. COLMEX- INE-SEMARNAT. (www.ine.gob.mx).
- León, C. I. Espejel, I. C. Bravo, J.L. Fermán, B. Graizbord, L. J. Sobrino y J. Sosa. 2004. El Ordenamiento ecológico como un instrumento de la política pública para impulsar el desarrollo sustentable: caso en el noroeste de México. En: Arriaga Rivera et al (eds.) El Manejo Costero en México. Epomex, Semarnat, Semarnat, CETyS, Univ. de Quintana Roo. 341-352 pp.
- Lindsey G., J. Wittman, et al.1997. "Using Indices in Environmental Planning: Evaluating Policies for Wellfield Protection." Journal of Environmental Planning and Management **40**(6): 685-703.
- Maguire D. J., Goodchild M. F. y Rhind D. W. 1991a. Geographical Information Systems. Principles. Longman Scientific & Technical. England. 447 pp.

- Maguire D. J., Goodchild M. F. y Rhind D. W. 1991b. Geographical Information Systems. Applications. Longman Scientific & Technical. England. 649 pp.
- McCoy Jill. 2004. Geoprocessing in ArcGIS. Earth System Research Institute. Red Lanas, California. Estados Unidos.
- Nijkamp P. and Rietveld P., 1990. Multicriteria evaluation in physical planning. Elsevier Science Publications. Amsterdam, The Netherlands, 219 pp
- OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 1993. *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*. Organization for economic co-operation and development. Environment monographs. 39 pp.
- RIMIRCOM-INE. Red Interinstitucional de Manejo de Recursos Costeros y Marinos del Mar de Cortes - Instituto Nacional de Ecología. 2003. Ordenamiento ecológico de la región mar de cortés. Ventanas micro-regionales. Informe Técnico.
- Rivera-Arriaga E., G. J. Villalobos Zapata, I. Azuz Adeath y Francisco Rosado May (Eds.), 2004. El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654 pp.
- SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología). 1988. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica, Mexico, D.F., 356 pp.
- Seingier, G., Galindo Bect L., Fermán Almada, J.L., García Gastelum, A., Arredondo García, M.C., 2005. Sistemas de información geográfica en la planeación ambiental: Ejemplo de sistematización del proceso de regionalización en la zona costera de Baja California, México, Aula y Ambiente, IPC, Caracas, Venezuela (en prensa).
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2003. Anuario estadístico de Pesca 2003. Publicación con la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). México. 265 pp.
- Sala E., Aburto-Oropeza O., Paredes G., Parra I., Barrera C.J. y P.K. Dayton. 2002. A general model for designing networks of marine reserves. *Science*. 298: 1991-1993.

- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego and F.E. Müller-Karger, 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* 99:7411-7421.
- Strand, R. 2002. Las ciencias ambientales: ¿multidisciplinarias o interdisciplinarias?, ECOTROPIA. Rubes Editorial y del CEA (UAB). Vol. 2002.
- SEMAR, 1997. Punta San Pablo a Mazatlán, 1:780,000. Carta Regional y de Recalada: S.M. 300.
- SEMAR, 1999. Golfo de California Parte Norte, 1:639,000. Carta Regional y de Recalada: S.M. 200.
- SEMAR, 2000. Cabo San Lucas a Manzanillo, 1:750,000. Carta Regional y de Recalada: S.M. 400.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), 2000. Programa de manejo área de protección de flora y fauna Islas del Golfo de California, México, pp. 260.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. México. 190 pp.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2004. Indicadores para la caracterización y el Ordenamiento territorial. México. 161 pp.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2006. Bases Técnicas del Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California.
Sitio Web:
http://www.semarnat.gob.mx/dgpairs/mcortes/btecnicas_golfo.shtml.
[Página consultada en Junio del 2006]
- Sheik M. Tanya, Franklin B. Alan. 2001. Modeling in Natural Resource Management. Development, Interpretation and Application. Washington, D.C. USA, Island Press.
- UNESCO. 2005. World Heritage. Sitio Web [<http://whc.unesco.org/en/list/1182>]
Página consultada el 22 de Octubre del 2006.
- Vandermeulen, H. 1998. The development of marine indicators for coastal zone management. *Ocean and Coastal Management*. 39: 63-71.

- Winograd M., N Fernández, R.M. Franco. 1995. Marco Conceptual para el Desarrollo y Uso de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad para Toma de Decisiones en Latinoamérica y el Caribe. Documento para Discusión Taller Regional sobre Uso y Desarrollo de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad, PNUMA - CIAT,, México D.F., México,: 22. <http://www.unep.org/>
- Yáñez-Arancibia, A. and Day, J.W. 2004. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool, *Ocean & Coastal Management*, 47(11-12), pp 727-757.

ANEXO I

Consideraciones técnicas
para el reemplazo de coberturas de información

1) Consideraciones para los modelos de coberturas

Para cambiar los archivos de entrada o insumo de los modelos de coberturas es muy importante respetar los siguientes aspectos de las nuevas coberturas a usar:

1. *Sistema de referencia*: Cualquier cobertura de información que se desee emplear como insumo para los modelos de cobertura debe encontrarse en el mismo sistema de referencia (Cónica Conforme Lambert) mencionado en el escrito de la tesis con los mismos parámetros.
2. *Tabla de Contenido*: Preferentemente las coberturas por emplearse en los modelos, deben estar agregadas a la tabla de contenidos del respectivo proyecto (oemgc_modelbuild_.mxd).
3. *Nombre de la cobertura*: El nombre del shapefile a usar debe ser exactamente el mismo que el del shapefile original.
4. *Nombre de los campos*: El nombre de los campos o columnas de información que estén contenidos en el nuevo shapefile debe ser exactamente el mismo que el del shapefile original.
5. *Tipo de campos*: El tipo de campos (numéricos o caracteres) de información que estén contenidos en el nuevo shapefile deben ser exactamente los mismos que el del shapefile original.
6. *Número de campos*: El número de campos o columnas de información que estén contenidos en el nuevo shapefile deben ser exactamente los mismos que el del shapefile original.
7. *Número de registros*: El número de registros para las coberturas de información que estén contenidos en el nuevo shapefile deben ser exactamente los mismos que el del shapefile original.