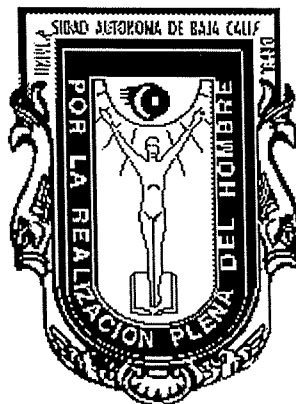


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias



**Desarrollo de una aplicación para determinar índices de peligro de incendio, como
componente de un sistema de información geográfica.**

TESIS

Que para obtener el título de

Licenciado en Ciencias Computacionales

Presenta

José Luis Alejandro Gomero Portilla.

Ensenada, Baja California noviembre de 1999

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias

**Desarrollo de una aplicación para determinar índices de peligro de incendio, como
componente de un sistema de información geográfica.**

TESIS

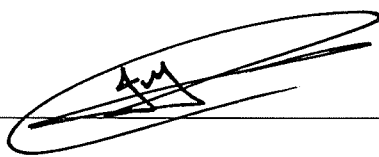
Que para obtener el título de

Licenciado en Ciencias Computacionales

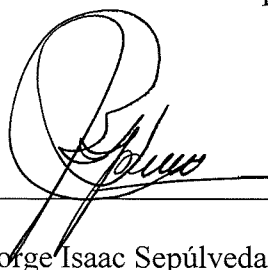
Presenta

José Luis Alejandro Gomero Portilla.

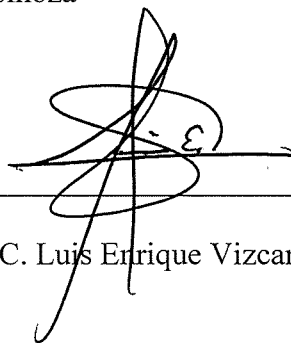
Aprobado por:



L.C.C. José Martín Olguín Espinoza



M.C. Jorge Isaac Sepúlveda Betancourt



L.C.C. Luis Enrique Vizcarra Corral

DEDICATORIAS

Quiero dedicar esta tesis en a mis padres, que tanto han esperado este momento.

A mi abuelita Ma. Elena que es mi segunda madre.

A mis hermanas, Wendy y Sara, a quienes quiero con toda mi alma.

A toda mi familia, con cariño.

Pero de manera especial para mi querida esposa Esveidi. Con todo el amor del mundo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a Dios primero que a nadie, por haberme permitido terminar mis estudios profesionales con éxito.

Doy gracias a mis padres, que siempre me han alentado para alcanzar mis objetivos y que nunca han dejado de estar conmigo en los momentos difíciles.

Agradezco a mis abuelos por todo el apoyo que me han brindado.

A mis queridas hermanas, por el gran cariño que siempre he recibido de ellas.

A Esveidi, por su gran amor y comprensión.

A los Hijos de Bolitas, generación 1992-96, que fueron grandes compañeros de escuela y con los que compartí buenos momentos.

A mis compañeros y amigos del CECUUE por el gran compañerismo que me han otorgado en el tiempo que he compartido con ellos.

Agradezco al CONACYT por la beca y apoyo económico otorgado a través del proyecto Índices de Peligro y Modelos de Simulación en el SIG para la Prevención y Control de Incendios Forestales, clave 4150PM9607.

A mi director de tesis, Lic. Martín Olguín Espinoza, por la confianza, orientación y apoyo que me ha brindado.

Agradezco a mi asesor, M.C. Jorge Sepúlveda Betancourt, por su gran apoyo, pero sobretodo por su paciencia durante el periodo de desarrollo de la tesis.

Al Lic. Luis Enrique Vizcarra Corral, por participación y apoyo durante el desarrollo del proyecto, dentro del cual se elaboró la tesis presentada.

Y a todos las personas que de una forma u otra me apoyaron durante y después de la culminación de mis estudios profesionales.

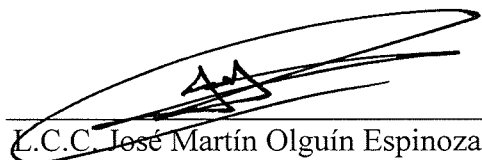
RESUMEN

RESUMEN DE Tesis de José Luis Alejandro Gomero Portilla presentada como requisito parcial para la obtención de la Licenciatura en Ciencias Computacionales. Ensenada, Baja California, México. Octubre de 1999.

Título:

Desarrollo de una aplicación para determinar índices de peligro de incendio, como componente de un sistema de información geográfica.

Resumen aprobado por:



L.C.C. José Martín Olguín Espinoza

Los incendios forestales son un problema que aqueja cada año a nuestro país, causando graves daños a los recursos naturales de México. Por esta razón, en los últimos años se han hecho grandes esfuerzos para combatir este fenómeno, a través de búsqueda y uso de herramientas tecnológicas que auxilien en la tarea de elaborar Índices de Peligro de Incendio (IPI), para prevenir y controlar incendios forestales.

Este trabajo de tesis presenta el desarrollo de un sistema computacional que calcula IPI de la zona forestal de Baja California. Esta aplicación forma parte del proyecto INDICES DE PELIGRO Y MODELOS DE SIMULACION EN EL SISTEMA DE

INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES (GIS-INIFAP), para el estado de Baja California. Desarrollado conjuntamente por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Cómputo Universitario Unidad Ensenada (CECUUE) y la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California.

El sistema está modelado bajo la metodología *Object Modeling Technique* (OMT) e implementado con la herramienta ArcView.

El resultado de este trabajo será utilizado por INIFAP, Campo experimental Costa Ensenada (CECOEN).

CONTENIDO

DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
CONTENIDO	VII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XIII
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Relación de los GIS con áreas de la Ciencia	3
2.1.1. Computación	3
2.1.2. Matemáticas	4
2.2. Los Elementos de un GIS	4
2.3. Justificación	6
2.4. Objetivos	7
2.4.1. Objetivo General.	7
2.4.2. Objetivos Específicos	7
3. MARCO TEORICO	8
3.1. MODELO NFDRS (National Fire-Danger Rating System)	8
3.1.1. Introducción	8
3.1.1.1. Definición del NFDRS	8
3.1.1.2. Historia del NFDRS	8
3.1.2. Diagrama del modelo NFDRS	10
3.2. Metodología	14
3.2.1. Descripción de la metodología a utilizar para el desarrollo del sistema.	14
3.2.2. Etapas que comprenden la metodología OMT	16
3.2.2.1. Análisis	16
3.2.2.2. Diseño del Sistema.	17
3.2.2.3. Diseño de Objetos.	17
3.2.2.4. Implementación.	18
3.2.3. Los tres modelos de OMT	19
3.2.3.1. Modelo de Objetos	19
3.2.3.2. Modelo Dinámico	20
3.2.3.3. Modelo de Funcional	20
3.2.4. Implementación orientada a objetos	21
3.2.5. Arquitectura	22
3.2.5.1. Subsistemas	22
3.2.6. Esquema cliente servidor (relación entre dos subsistemas)	24
4. DESARROLLO	25
4.1. Análisis	25

4.1.1. Introducción	25
4.1.2. Requerimientos del sistema	25
4.1.3. Alcance del Análisis	26
4.1.4. Alcance del Sistema	26
4.1.5. Metodología	27
4.1.6. Modelado del sistema	27
4.1.6.1. Modelo de Objetos	28
4.1.6.2. Modelo Dinámico	29
4.1.6.2.1. Cálculo de IPI	30
4.1.6.2.2. Despliegue de IPI	31
4.1.6.3. Modelo de Funcional	33
4.1.6.3.1. Cálculo de IPI	34
4.1.6.3.2. Despliegue de IPI	35
4.2. Diseño	36
4.2.1. Introducción	36
4.2.2. Alcance del Diseño	36
4.2.3. Metodología	37
4.2.4. Arquitectura	37
4.2.4.1. Dependencia entre subsistemas	39
4.2.5. Relación entre subsistemas	40
4.2.5.1. Relación de Aplicación IPIG con Despliegue de IPI	41
4.2.5.2. Relación de Despliegue de IPI con Base de Datos	41
4.2.6. Subsistemas	42
4.2.6.1. Aplicación IPIG	43
4.2.6.2. Cálculo de IPI	44
4.2.6.2.1. Casos de Uso	46
4.2.6.2.1.1. Cálculo de índices de peligro de incendio	46
4.2.6.2.2. Diagramas de escenarios del subsistema Cálculo de IPI	46
4.2.6.2.2.1. Calcular los componentes de propagación e ignición (SC e IC)	46
4.2.6.2.2.2. Calcular índice de quema (BI)	48
4.2.6.2.2.3. Calcular la humedad del combustible (MF)	49
4.2.6.2.2.4. Calcular el índice de ocurrencia de incendio causado por el hombre (MCOI)	51
4.2.6.2.3. Diagramas de flujo de datos del subsistema Cálculo de IPI	52
4.2.6.2.3.1. Calcular los componentes de propagación e ignición (SC e IC)	53
4.2.6.2.3.2. Calcular índice de quema (BI)	54
4.2.6.2.3.3. Calcular la humedad del combustible (MF)	56
4.2.6.2.4. Algoritmos del subsistema Cálculo de IPI	59
4.2.6.2.4.1. Calcular los componentes de propagación e ignición (SC e IC)	59
4.2.6.2.4.2. Calcular índice de quema (BI)	64
4.2.6.2.4.3. Calcular la humedad del combustible (MF)	68
4.2.6.2.4.4. Calcular el índice de ocurrencia de incendio causado por el hombre (MCOI)	74
4.2.6.3. Despliegue de IPI	78
4.2.6.3.1. Casos de Uso	79
4.2.6.3.1.1. Despliegue de índices de peligro de incendio	79
4.2.6.3.2. Diagramas de escenarios del subsistema Despliegue de IPI	79
4.2.6.3.2.1. Despliegue de IPI	79
4.2.6.3.2.2. Despliegue de datos geográficos	81
4.2.6.3.2.3. Despliegue de datos tabulares	82
4.2.6.3.3. Diagramas de flujo de datos del subsistema Despliegue de IPI	83
4.2.6.3.3.1. Despliegue de datos geográficos	84
4.2.6.3.3.2. Despliegue de datos tabulares	85
4.2.6.3.4. Algoritmos del subsistema Despliegue de IPI	86
4.2.6.4. Base de Datos	89
4.2.7. Estructura de la base de datos	90

4.2.7.1. Modelo de combustible	90
4.2.7.2. Estación virtual	91
4.2.7.3. Índices de peligro de incendio	91
4.2.7.4. Datos meteorológicos necesarios.	92
4.2.7.5. Datos históricos de incendios causados por el hombre	92
4.2.7.6. Descripción de la peligrosidad del índice de quema.	93
4.2.7.7. Polígonos de la zona forestal.	93
4.2.8. Concurrencia inherente	94
4.2.9. Estimación de requerimientos de recursos del sistema	94
4.2.9.1. Hardware	94
4.2.9.2. Software	95
4.2.10. Método de control de software	95
4.2.11. Decisiones de Diseño	96
4.3. Implementación	98
4.3.1. Introducción	98
4.3.2. Lenguaje	98
4.3.3. Características de la implementación	100
4.3.4. Esquema de operación global para el cálculo de IPI	104
5. RESULTADOS	106
5.2. Introducción	106
5.2. Resultados del cálculo de IPI	107
5.2.1. Caso 1. Resultados con nivel de peligro bajo	108
5.2.2. Caso 2. Resultados con nivel de peligro alto	112
5.3. Validación de resultados del IPIG	116
6. CONCLUSIONES	117
7. APENDICE A (Conceptos del Modelo NFDRS)	120
8. APENDICE B (Diccionario de Datos)	125
7.1. Aplicación IPIG	125
7.1.1. iVentana	125
7.1.1.1. Métodos Públicos:	125
7.1.2. iDatos_Tabulares	126
7.1.3. iPrincipal	126
7.1.4. iMapa	126
7.2. Calculo de IPI	127
7.2.1 Poligono	127
7.2.1.1. Atributos Protegidos	127
7.2.1.2. Métodos Públicos	128
7.2.2. BI	128
7.2.2.1. Atributos Protegidos	128
7.2.2.2. Atributos Privados	128
7.2.2.3. Métodos Públicos	129
7.2.3. Mod_Comb	130
7.2.3.1. Atributos Protegidos	130
7.2.3.3. Métodos Públicos	131
7.2.4. SC_IC	131
7.2.4.1. Atributos Protegidos	131
7.2.4.2. Atributos Privados	131
7.2.4.3. Métodos Públicos	132

7.2.5. MCOI	133
7.2.5.1. Atributos Protegidos	133
7.2.5.2. Atributos Privados	133
7.2.5.3. Métodos Públicos	134
7.2.6. Fuel_Moisture	134
7.2.6.1. Atributos Protegidos	134
7.2.6.2. Atributos Privados	135
7.2.6.3. Métodos Públicos	136
7.2.7. Clima	137
7.2.7.1. Atributos Protegidos	137
7.2.7.2. Métodos Públicos	137
7.3. Despliegue de IPI	138
7.3.1. Despliegue_Ipi	138
7.3.1.1. Atributos Privados	138
7.3.1.2 Métodos Públicos	139
7.4. Base de datos	140
7.4.1. tB_Datos	140
7.4.1.1. Métodos Públicos:	140
7.4.2. tIPI	140
7.4.2.1. Métodos Públicos:	141
7.4.3. tMod_comb	141
7.4.4. tPoligono	141
7.4.5. tDatos_Clima	141
7.4.6. tPeligrosidad_BI	142
7.4.7. tDatos_Hist	142
9. BIBLIOGRAFIA	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Estructura del Modelo de índices de peligro de incendio Bradshaw [et al] 1978.	12
Figura 3.2. Estructura del Modelo Bradshaw [et al] 1978. Modificada por el INIFAP para ser utilizada en el desarrollo del sistema.	13
Figura 3.3. Patrón de los diagramas cliente servidor entre subsistemas.	24
Figura 4.1. Análisis: Modelo de Objetos del Sistema IPIG.	28
Figura 4.2. Análisis: Modelo Dinámico del Sistema IPIG.	29
Figura 4.3. Análisis: Diagrama de Escenarios del Cálculo de IPI del Sistema IPIG.	31
Figura 4.4. Análisis: Diagrama de Escenarios del Despliegue de IPI del Sistema IPIG.	32
Figura 4.5. Análisis: Modelo Funcional del Sistema IPIG.	33
Figura 4.6. Análisis: Diagrama Funcional del Cálculo de IPI del Sistema IPIG.	34
Figura 4.7. Análisis: Diagrama Funcional del Despliegue de IPI del Sistema IPIG.	35
Figura 4.8. Diseño: Arquitectura del Sistema IPIG (División en subsistemas).	38
Figura 4.9. Diseño: Dependencia entre subsistemas del Sistema IPIG.	39
Figura 4.10. Diseño: Relación entre Aplicación IPIG y Despliegue de IPI del Sistema IPIG.	41
Figura 4.11. Diseño: Relación entre los subsistemas Despliegue de IPI y Base de Datos del Sistema IPIG.	42
Figura 4.12. Diseño: Diagrama de clases del subsistema Aplicación IPIG del Sistema IPIG.	43
Figura 4.13. Diseño: Diagrama de clases del Cálculo de IPI del Sistema IPIG.	45
Figura 4.14. Diseño: Diagrama de escenarios para obtener los componentes de propagación e ignición del Sistema IPIG.	47
Figura 4.15. Diseño: Diagrama de escenarios para calcular el BI del Sistema IPIG.	48
Figura 4.16. Diseño: Diagrama de escenarios para calcular la humedad del combustible del Sistema IPIG.	50
Figura 4.17. Diseño: Diagrama de escenarios para calcular el MCOI del Sistema IPIG.	51
Figura 4.18. Diseño: Diagrama funcional del subsistema Cálculo de IPI del Sistema IPIG.	52
Figura 4.19. Diseño: Diagrama funcional para calcular los componentes de propagación e ignición de los IPI del Sistema IPIG.	54
Figura 4.20. Diseño: Diagrama funcional para calcular el índice de quema del Sistema IPIG.	55
Figura 4.21. Diseño: Diagrama funcional para calcular el retardo de humedad de los combustibles del Sistema IPIG.	56
Figura 4.22. Diseño: Diagrama funcional detallado, para calcular el retardo de humedad de los combustibles del Sistema IPIG.	57
Figura 4.23. Diseño: Diagrama funcional para calcular el índice de peligro de incendio causado por el hombre del Sistema IPIG.	58
Figura 4.24. Diseño: Diagrama de clases del Despliegue de IPI del Sistema IPIG.	78
Figura 4.25. Diseño: Diagrama de escenarios para el despliegue de IPI del Sistema IPIG.	80
Figura 4.26. Diseño: Diagrama de escenarios para el despliegue geográfico de IPI del Sistema IPIG.	81
Figura 4.27. Diseño: Diagrama de escenarios para el despliegue tabular de IPI del Sistema IPIG.	82
Figura 4.28. Diseño: Diagrama funcional del subsistema Despliegue de IPI del Sistema IPIG.	83
Figura 4.29. Diseño: Diagrama funcional para el despliegue de datos geográficos del Sistema IPIG.	84
Figura 4.30. Diseño: Diagrama funcional para el despliegue de datos tabulares del Sistema IPIG.	85
Figura 4.31. Diseño: Diagrama de clases de la Base de Datos del Sistema IPIG.	89
Figura 4.32. implementación: Esquema de operación global para el cálculo de IPI del Sistema IPIG.	104
Figura 5.1. Resultados: Componente de Ignición del 2 de julio 1999 del Sistema IPIG.	109
Figura 5.2. Resultados: Componente de propagación del 2 de julio 1999 del Sistema IPIG.	109
Figura 5.3. Resultados: Índice de Quema del 2 de julio de 1999 del Sistema IPIG.	110
Figura 5.4. Resultados: Resultados tabulares del 2 de julio de 1999 del Sistema IPIG.	111
Figura 5.5. Resultados: Componente de Ignición del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.	112

<i>Figura 5.6. Resultados: Componente de Propagación del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.</i>	<i>113</i>
<i>Figura 5.7. Resultados: Índice de Quema del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.</i>	<i>114</i>
<i>Figura 5.8. Resultados: Resultados tabulares del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.</i>	<i>115</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 4.1. Modelos de combustibles.</i>	90
<i>Tabla 4.2. Estación Virtual.</i>	91
<i>Tabla 4.3. Índices de Peligro de Incendio.</i>	91
<i>Tabla 4.4. Datos Meteorológicos.</i>	92
<i>Tabla 4.5. Datos Históricos de Incendios Forestales.</i>	93
<i>Tabla 4.6. Peligrosidad del Índice de Quema.</i>	93
<i>Tabla 4.7. Polígonos de la Zona Forestal.</i>	94

1. INTRODUCCION

El estado de Baja California posee una cubierta vegetal compuesta de matorral costero chaparral, bosque de pino y matorral desértico. Dentro de estas comunidades vegetales se registran año con año un gran número de incendios forestales producto de la coincidencia de tres factores. 1) las características de combustibilidad de las especies vegetales que los componen; 2) las condiciones climatológicas que prevalecen en el periodo verano-otoño las cuales son secas y calurosas y 3) las actividades antropogénicas que cambian las condiciones naturales. En 1997 en la entidad se registraron 98 incendios que afectaron 9,230 hectáreas [SEMARNAP, 1998].

En los últimos dos años se ha enfatizado la búsqueda de mejores herramientas tecnológicas para el manejo de los incendios forestales a través de modelos, con los que se elaboran Indices de Peligro de Incendio (IPI); adicionalmente con la incorporación de la tecnología de los sistemas de información geográfica (Geographic Information Systems, GIS, por sus siglas en inglés), la predicción y determinación de un incendio se transforma en una herramienta altamente efectiva. Esta técnica permite conocer la zona con mayor índice de incendio, así como también el grado de riesgo que pueda presentar en las diferentes comunidades vegetales. No obstante, para obtener estos modelos se requiere un amplio trabajo de investigación tanto de laboratorio como de campo a fin de generar bases de datos, considerando las diferentes variables características de los tipos de vegetación, combustibilidad del material, condiciones meteorológicas locales, rasgos

topográficos etc, por lo que el GIS representa una herramienta fundamental para el desarrollo de los modelos de simulación de incendios forestales.

En este contexto el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en convenio con la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), han formulado el proyecto de investigación INDICES DE PELIGRO Y MODELOS DE SIMULACION EN EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES (GIS-INIFAP), financiado por CONACYT, a través de la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal. De esta manera con carácter interdisciplinario participan en el desarrollo del proyecto, el INIFAP, la Facultad de Ciencias de la UABC y el Centro de Cómputo Universitario Unidad Ensenada (CECUUE).

El trabajo de tesis presentado describe el desarrollo de un subsistema del GIS-INIFAP, basado en una metodología orientada a objetos, cuyo objetivo principal es la determinación de índices de peligro de incendio.

2. ANTECEDENTES

Antes de empezar con la descripción del desarrollo del sistema se darán una serie de definiciones que se utilizarán a lo largo de la tesis.

Un Sistema de Información Geográfica, es una colección organizada de hardware, software, datos geográficos y recursos humanos, diseñada para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y desplegar eficientemente todo tipo de información geográficamente referenciada [ESRI, 1994].

2.1. Relación de los GIS con áreas de la Ciencia

2.1.1. Computación

- El diseño asistido por computadora (Computer Aided Desing, CAD, por sus siglas en inglés) provee software, técnicas para entrada de datos, despliegue y visualización, particularmente en tres dimensiones.
- El sistema de administración de bases de datos (Data Base Management Systems, DBMS, por sus siglas en inglés) contribuye con métodos para la representación de datos en forma digital, procedimientos para el diseño de sistemas y manejo de grandes volúmenes de información, particularmente acceso y actualización.

- La Teoría de Grafos provee algoritmos para el análisis y diseño de rutas, por ejemplo, cálculo de diferentes caminos para llegar de una estación de control de incendios forestales al lugar del siniestro, en el menor tiempo posible.

2.1.2. Matemáticas

- La Investigación de Operaciones, ya que muchas aplicaciones de los GIS requieren técnicas de optimización para la toma de decisiones.
- La Estadística, ya que muchos modelos para construir un GIS son estadísticos por naturaleza, y muchas técnicas estadísticas son usadas para el análisis. También la estadística es importante para entender las fuentes de error e incertidumbre de los datos utilizados en el GIS.
- Algunas otras ramas, especialmente Geometría y Topología son usadas en el diseño y análisis espacial de datos.

2.2. Los Elementos de un GIS

Un GIS consiste en cuatro elementos básicos los cuales operan en conjunto, estos son: Hardware, Software, Datos y Liveware [MAGUIRE, 1991].

- El elemento **hardware** puede ser casi cualquier tipo de plataforma de computación, incluyendo computadoras personales relativamente modestas, estaciones de trabajo de alto desempeño, minicomputadoras y computadoras mainframe.

- Aunque hay variaciones en organización y capacidad para **software** de GIS, existen tres diseños básicos. Estos se conocen como diseño de procesamiento de archivos, diseño híbrido y diseño extendido.
 - En un diseño de procesamiento de archivos, cada conjunto de datos y funciones son almacenados como un archivo separado y estos son enlazados durante una operación analítica.
 - En el diseño híbrido, los atributos (datos) son almacenados en un DBMS convencional y un software especial es usado para datos geográficos.
 - El diseño extendido, almacena tanto datos geográficos como atributos en un DBMS extendido, el cual es extendido para proveer funciones analíticas geográficas apropiadas.
- El tercer elemento importante de un GIS son los **datos**. En muchos aspectos los datos son un recurso crucial. Los datos geográficos son muy costosos de coleccionar, almacenar y manipular porque normalmente son requeridos grandes volúmenes para resolver problemas geográficos sustantivos.
- Como elemento final, el más importante y significativo de un GIS, el **liveware**; que es el recurso humano responsable del diseño, implementación y uso del GIS.

2.3. Justificación

Los incendios forestales, son un fenómeno natural que forma parte del ciclo de vida de bosques y montañas. Sin embargo, cuando no se lleva un buen control, estos pueden causar un grave problema a nuestro hábitat. Baja California es una región en la que año con año sucede una cantidad considerable de incendios forestales, en los últimos tres años el promedio es de 137, devastando aproximadamente 10762 hectáreas. A causa de estos motivos, es fundamental el desarrollo de un sistema computacional como posible solución para la prevención y el control de incendios forestales en el Estado. La función de esta aplicación es auxiliar en el cálculo de índices de peligro de incendio, ya que estos son de gran utilidad para predecir cuales zonas tienen un mayor riesgo de incendio.

De esta manera, el desarrollo de una aplicación que forme parte de un Sistema de Información Geográfica, es la solución más factible para la determinación de índices de peligro de incendio, debido al número de elementos que intervienen. tales como mapas con referencia geográfica y bases de datos, entre los más importantes. Además, este sistema será modelado bajo una metodología orientada a objetos. *Object Modeling Technique* (OMT), para ser más claros, lo que permite un desarrollo más sencillo y coherente con respecto al mundo real.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo General.

Desarrollar un sistema, basado en una metodología orientada a objetos, que servirá para determinar los mapas de índices de peligro de incendio, del sistema de información geográfica para la determinación de índices de peligro de incendio y simulación de incendios forestales, de los principales tipos de vegetación del estado de Baja California (GIS-INIFAP).

2.4.2. Objetivos Específicos

- Aplicación de la metodología de desarrollo de sistemas *Object Modeling Technique* (OMT) en Sistemas de Información Geográfica.
- Implementación del modelo de predicción y control de incendios forestales, que contiene las funciones matemáticas, que involucran la teoría de índices de peligro de incendio.
- Construcción de la aplicación que formará parte del GIS-INIFAP, la cual calculará índices de peligro de incendio de la zona forestal de Baja California.
- Generación de los mapas base con referencia geográfica, que contendrán los índices de peligro de incendio calculados, clasificados por su nivel de peligrosidad.

3. MARCO TEORICO

3.1. MODELO NFDRS (National Fire-Danger Rating System)

3.1.1. Introducción

3.1.1.1. Definición del NFDRS

Integración de componentes con atributos meteorológicos, topográficos y de vegetación con cobertura nacional, de cuya interacción se derivan índices, con los que se predice el número y la magnitud de los incendios que pueden ocurrir, así como las necesidades de herramientas y equipo para contenerlos.

3.1.1.2. Historia del NFDRS

El NFDRS, tiene sus orígenes en el año de 1965, cuando un grupo de investigadores de Seattle Washington, U.S., encabezado por Donald F. Flora, tomaron los requerimientos y necesidades de control de incendios forestales, formando así un sistema nacional. Sin embargo, fue hasta 1972 cuando quedó terminada la primera versión de este modelo, la cual sería perfeccionada en 1978. Esta primera versión proveía tres índices para determinar peligro de incendio, cinco clases de combustibles (tres muertos y dos vivos), nueve modelos de combustibles y tres clases de pendientes de terreno [BRADSHAW, 1978].

La modificación hecha al NFDRS en 1978, resolvió problemas identificados en la versión de 1972, tales como índices de ocurrencia, componente de ignición, más modelos de combustibles (ofrece 20 modelos, anteriormente eran 9), mejor definición de pendiente de terreno, humedad en modelos de combustibles vivos [BURGAN, 1988].

El modelo de 1978 fue usado sin ninguna modificación desde que fue implementado, pero sin embargo este no tuvo el rendimiento que de él se esperaba, ya que su funcionamiento en ambientes húmedos no fue adecuado. Durante los siguientes diez años a su implementación se encontraron algunas deficiencias en su desempeño las cuales fueron más evidentes en el Este de los Estados Unidos. Estas deficiencias fueron tratadas en el taller *National Fire-Danger Rating* encabezado por Harper Ferry en 1986, en el cual participaron investigadores y usuarios del modelo tanto Estatales como Federales. El propósito del consenso era encontrar e implementar soluciones al problema dado, lo más pronto posible [BURGAN, 1988].

Los objetivos principales fueron:

- Mejorar la capacidad del modelo para ambientes húmedos.
- Proveer flexibilidad para reflejar el reverdecimiento de los combustibles vivos.
- Corregir el problema de la sobrestimación del peligro de incendio en otoño.
- Corregir el problema de la sobrestimación del peligro de incendio después de un aguacero.
- Ajustar los modelos de combustibles para mejorar la predicción de peligro de incendio en ambientes húmedos.

Dos años después de efectuarse el taller, fue liberada la revisión de 1988 del modelo NFDRS, en la cual se incluyen las modificaciones a los problemas detectados en la versión anterior, resolviendo así los conflictos mencionados en cada uno de los puntos anteriores [BURGAN, 1988].

Hasta la fecha, la versión de 1988 se ha venido utilizando con éxito en Estados Unidos para la obtención de índices de peligro de incendio, siendo esta la base para el desarrollo del sistema.

3.1.2. Diagrama del modelo NFDRS

Este diagrama (figura 3.1) representa la arquitectura del Modelo en 1978, en el cual se basa el sistema para la obtención de los índices de peligro de incendio, el Modelo presentado provee cuatro índices que están directamente relacionados con los incendios y a su vez facilitan la actividad de control de estos. Índice de Ocurrencia de Incendio Causado por los Rayos; el Índice de Ocurrencia de Incendio Causado por el Hombre; el Índice de Quema; y el Índice de Carga de Incendio; sin embargo solo dos de estos índices son útiles para nuestros fines, el MCOI y el BI.

El motivo por el cual es despreciable en el sistema el LOI, se debe a que muy rara vez es provocado un incendio por un rayo en la zona forestal de Baja California (esta decisión es tomada a raíz de una reunión técnica con los expertos de INIFAP). generalmente este fenómeno es frecuente en los estados de la costa Este de los Estados Unidos (Georgia,

Florida, Alabama, etc). Así mismo la causa por la cual no se toma en cuenta el FLI, se debe a que este es un índice comparativo de los incendios ocurridos año con año y no tiene una funcionalidad operativa con respecto al control de los incendios como lo son el MCOI y el BI, los cuales nos dan el posible número de incendios provocados por un hombre y el tamaño de estos, respectivamente.

En el diagrama que se muestra en la figura 3.1, el LOI y el FLI aparecen marcados por líneas punteadas a su alrededor, lo que se trata de indicar es que estos índices no serán utilizados durante la implementación del sistema.

Nota: La estructura del modelo no cambió en la versión de la revisión de 1988, es por eso que se hace mención a la estructura del modelo de 1978.

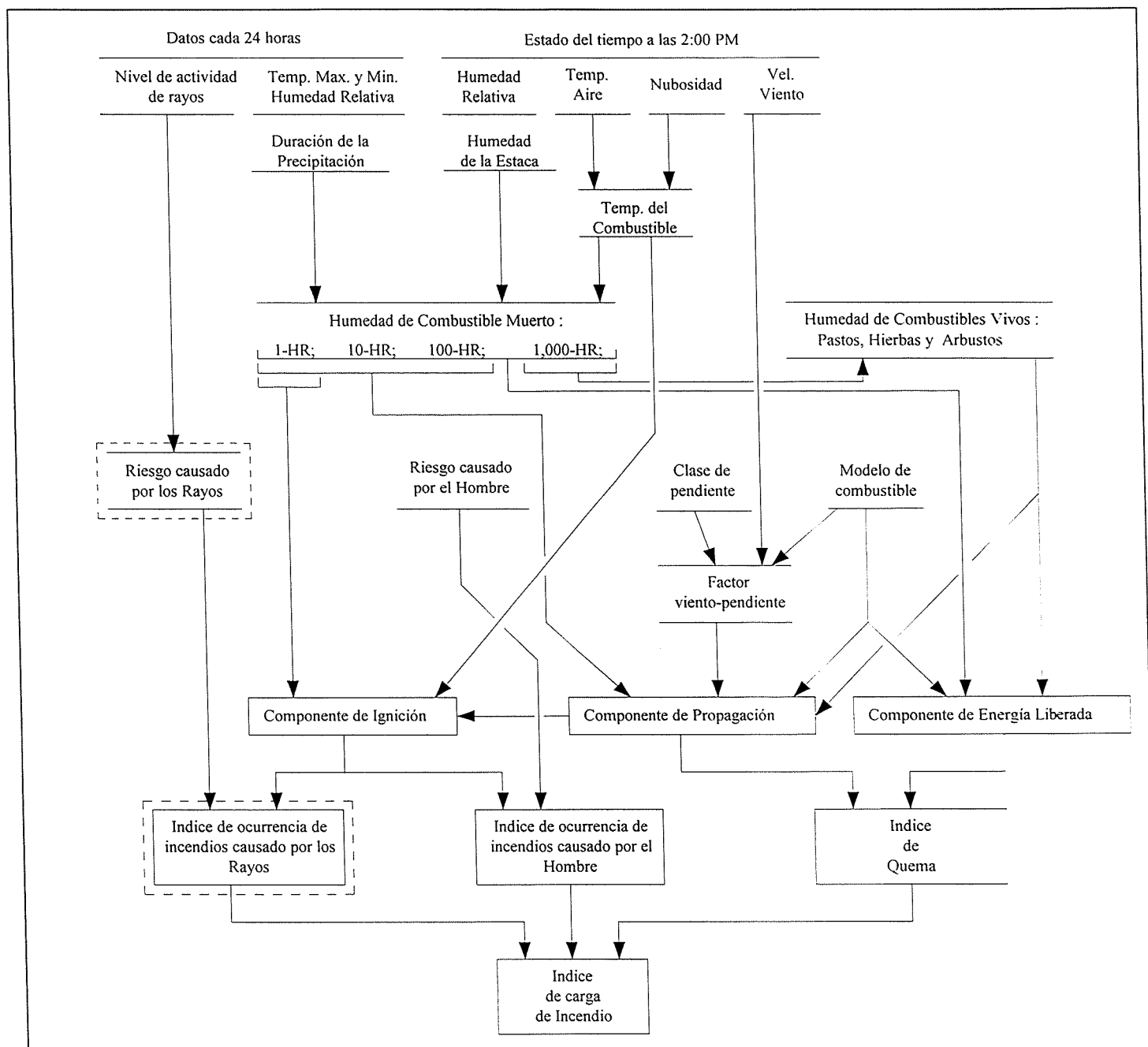


Figura 3.1. Estructura del Modelo de índices de peligro de incendio Bradshaw [et al] 1978.

La estructura que se utilizará, del modelo NFDRS, elimina los índices anteriormente mencionados, está representado en la figura 3.2.

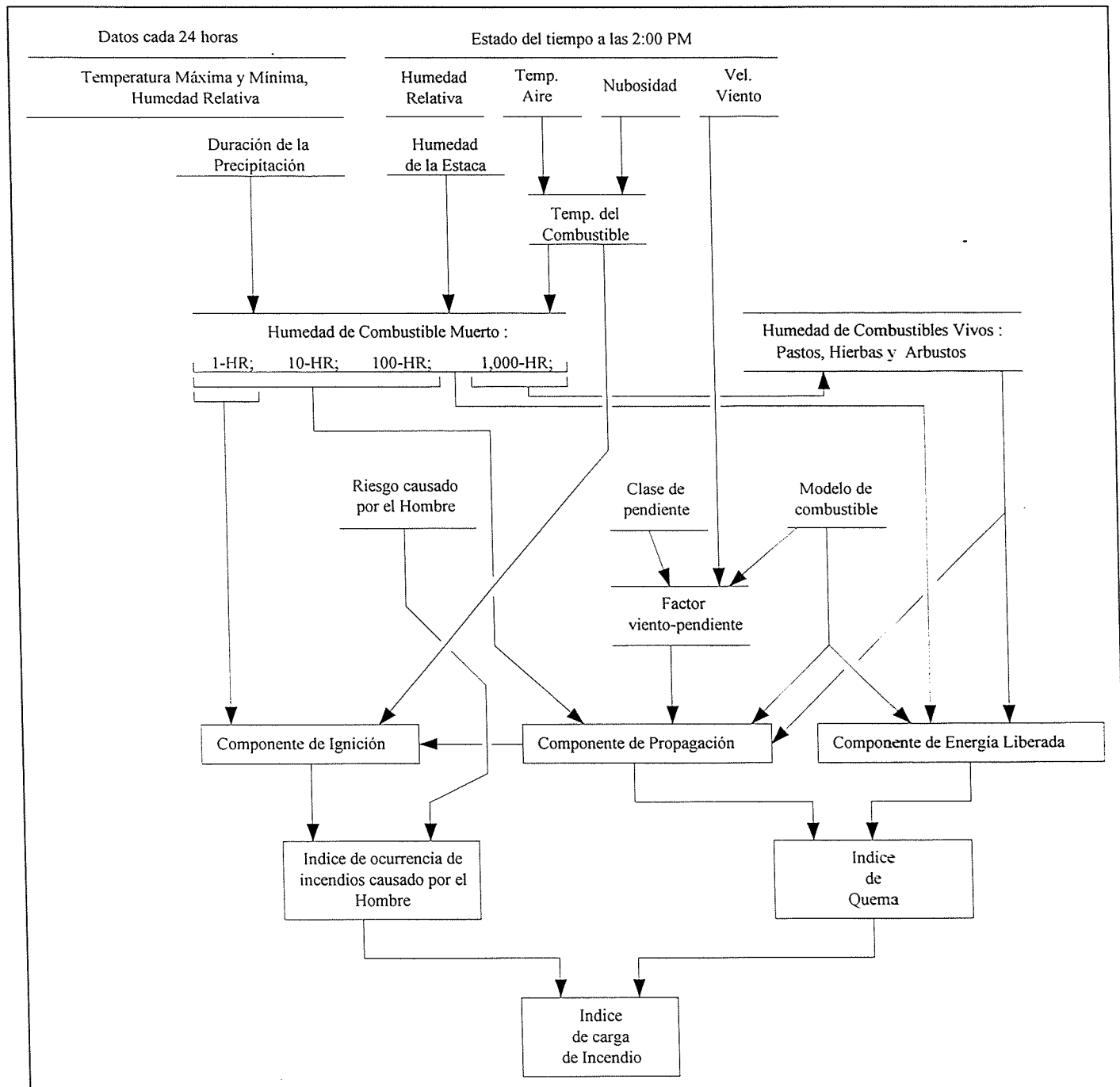


Figura 3.2. Estructura del Modelo Bradshaw [et al] 1978. Modificada por el INIFAP para ser utilizada en el desarrollo del sistema.

3.2. Metodología

3.2.1. Descripción de la metodología a utilizar para el desarrollo del sistema.

Básicamente, el sistema será diseñado mediante una metodología orientada a objetos, con base en la Ingeniería del Software. El diseño Orientado a Objetos utiliza modelos organizados sobre conceptos del mundo real para resolver problemas. La construcción fundamental es el *objeto*, el cual combina estructura de datos y funcionamiento en una entidad sencilla, [RUMBAUGH, 1991]. Orientación a objetos es un concepto general que ha sido usado en diferentes problemas, tales como, lenguajes de programación, sistemas de bases de datos, e *interfaces* de usuario. En diseño de software el término “orientado-a-objetos” significa que el software es organizado como una colección de objetos discretos incorporando estructura y funcionamiento.

La metodología orientada a objetos puede ser usada durante las fases de desarrollo del GIS: requerimientos del sistema, análisis, diseño e implementación. En donde las propiedades o características del mundo real son representadas por objetos, para este caso las características del mundo real de la superficie de la tierra son representadas en un GIS por puntos, líneas y polígonos [ESRI, 1997], en donde estos elementos vienen siendo los objetos. Por ejemplo, un modelo de datos completo orientado a objetos almacena una característica del mundo real como una entidad individual, viéndolo desde este punto de vista una línea es un objeto (o un tipo de dato) que tiene atributos y funciones.

Otro enfoque, podría ser un conjunto de datos completo, como un mapa digital de los Estados Unidos Mexicanos, el cual es definido como un objeto de alto nivel. El contenido del conjunto de datos son las subclases o superclases. En primer caso, el objeto mapa digital de México, está compuesto de 32 mapas de estados digitales (objetos), y cada mapa de estado digital está compuesto de mapas de municipios digitales, y así sucesivamente. Donde cada clase de datos tiene sus propiedades, atributos y métodos.

Pasos a seguir para el desarrollo de la aplicación que determina los de índices de peligro de incendio:

A) Primero, hacer un estudio del modelo NFDRS que contiene las ecuaciones matemáticas utilizadas en el cálculo de estos índices, así como de todos los parámetros de entrada que intervienen.

B) Una vez comprendidas estas ecuaciones, y conocido su mecánica de funcionamiento, se procede a aplicar la metodología de James Rumbaugh [RUMBAUGH, 1991], la cual consiste básicamente de *análisis, diseño del sistema, diseño de objetos, e implementación del modelo*. Además de aplicar OMT, también es necesario contar con datos de entrada, los cuales serán tomados en parte de los tipos de combustibles existentes en las zonas, así como de los mapas meteorológicos.

C) Después se obtendrán los datos que servirán como parámetros de entrada al sistema, los cuales serán almacenados en tablas o archivos.

D) Finalmente, una vez que se tienen los datos necesarios para obtener los índices de cada zona, se realizan los cálculos, y se guardan los resultados en tablas o archivos para ser usados en la generación de los mapas base con referencia geográfica.

En cuanto a los mapas base con referencia geográfica que contienen los índices de peligro de incendio, se evaluaron las herramientas de desarrollo de sistemas de información geográfica para determinar su conveniencia, o en su defecto, la necesidad de implementar funciones propias que satisfagan las necesidades de generar la clasificación de zonas de peligrosidad en estos mapas.

3.2.2 Etapas que comprenden la metodología OMT

3.2.2.1. Análisis

Empezando con un enunciado del problema, el analista construye un modelo de la situación del mundo real mostrando las propiedades más importantes. El analista debe trabajar con el solicitante para entender el problema porque raramente los enunciados de los problemas son completos o correctos. El modelo de análisis es una abstracción precisa, concisa de que es lo que debe de hacer el sistema deseado y no de como debe de hacerlo. Los objetos en el modelo deben de ser del dominio de la aplicación y no conceptos del dominio de la implementación computacional, tales como estructuras de datos, *ya que un buen modelo puede ser entendido y criticado por expertos de la aplicación que no sean programadores*, [RUMBAUGH, 1991]. El modelo de análisis no debe contener ninguna decisión de implementación. Por ejemplo, una clase *Ventana* en

un sistema de ventanas de una estación de trabajo podría ser descrita en términos de los atributos (color, forma, tamaño, etc.) y de las operaciones (mover, maximizar, minimizar, etc.) visibles al usuario.

3.2.2.2. Diseño del Sistema.

El diseñador del sistema hace decisiones de alto nivel acerca de la arquitectura total. Durante el diseño del sistema, el sistema objetivo es organizado en subsistemas basados tanto en la estructura del análisis como en la arquitectura propuesta. El diseñador del sistema debe decidir que características de desempeño optimizar, escoger una estrategia para atacar el problema y hacer asignaciones de recursos tentativas. Por ejemplo, el diseñador del sistema debe decidir que cambios a la pantalla de la estación de trabajo deben ser rápidos y suaves aún cuando las ventanas sean movidas o borradas. y seleccionar un protocolo de comunicaciones apropiado y una estrategia de intercambio de bloques de memoria, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.2.3. Diseño de Objetos.

El diseñador de objetos construye un modelo de diseño basado en el modelo de análisis pero conteniendo detalles de implementación. El diseñador agrega detalles al modelo de diseño de acuerdo con la estrategia establecida durante el diseño del sistema. El enfoque del diseño de objetos son las estructuras de datos y los algoritmos necesarios para implantar cada clase. Las clases de objetos del análisis siguen siendo útiles, pero son aumentadas con estructuras de datos y algoritmos del dominio computacional

seleccionadas para optimizar importantes medidas de desempeño. Tanto los objetos del dominio de la aplicación como los del dominio computacional, son descritos usando los mismo conceptos y notación orientados a objetos, aunque existan en diferentes planos conceptuales. Por ejemplo, las operaciones de la clase *Ventana* se especifican ahora en términos del sistema operativo y del hardware subyacente, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.2.4. Implementación.

Las clases de objetos y las relaciones desarrolladas durante el diseño de objetos son traducidas finalmente a una implementación en un lenguaje de programación, base de datos o hardware particular. La programación debe ser una parte relativamente menor y mecánica del ciclo de desarrollo, debido a que todas las decisiones difíciles deben haberse hecho durante el diseño. El lenguaje objetivo influye en las decisiones de diseño hasta cierto nivel, pero el diseño no debe depender de detalles finos de un lenguaje de programación. Durante la implementación, es importante el seguir una buena práctica de la ingeniería de software de tal forma que el seguimiento del diseño sea directo y que el sistema implantado permanezca flexible y extendible. Por ejemplo, la clase *Ventana* podría ser codificada en un lenguaje de programación usando llamadas al sistema de gráficas subyacente de la estación de trabajo, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.3. Los tres modelos de OMT

La metodología OMT utiliza tres tipos de modelos para describir un sistema:

- **Modelo de Objetos.** Incluye las clases del sistema y la relación entre ellas.
- **Modelo Dinámico.** Se utiliza para mostrar los diferentes estados de un objeto. Para definir este modelo es necesario trabajar sobre los casos de uso y escenarios típicos de ejecución.
- **Modelo Funcional.** Define las entradas y salidas del sistema, la interacción con agentes externos así como los procesos que deben realizarse.

Cada modelo es aplicable durante todas las etapas de desarrollo y adquieren detalles de implantación conforme avanza el desarrollo. Una descripción completa de un sistema requiere los tres modelos [RUMBAUGH, 1991].

3.2.3.1. Modelo de Objetos

El **modelo de objetos** describe la estructura estática de los objetos en un sistema y sus relaciones. El modelo de objetos contiene diagramas de objetos. Un diagrama de objetos es un grafo cuyos nodos son clases de objetos y cuyos arcos son relaciones entre clases. [RUMBAUGH, 1991].

3.2.3.2. Modelo Dinámico

El **modelo dinámico** describe los aspectos del sistema que cambian conforme pasa el tiempo. El modelo dinámico es usado para especificar e implantar los aspectos de control de un sistema. El modelo dinámico contiene diagramas de estado. Un diagrama de estado es un grafo cuyos nodos son estados y cuyos arcos son transiciones entre los estados causadas por eventos, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.3.3. Modelo de Funcional

El **modelo funcional** describe las transformaciones de los valores de los datos dentro de un sistema. El modelo funcional contiene diagramas de flujo de datos. Un diagrama de flujo de datos representa un cálculo. Un diagrama de flujo de datos es un grafo cuyos nodos son procesos y cuyos arcos son flujos de datos, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.4. Implementación orientada a objetos

Dentro de las etapas de desarrollo de sistemas, la escritura de código es la fase siguiente al diseño. La codificación es prácticamente directa, casi mecánica, ya que las decisiones importantes, generalmente, se hacen en el diseño. La implementación puede ser una traslación simple de las decisiones de diseño a un lenguaje en particular. No obstante, dentro de la escritura de código puede haber cambios, pero estos solo deben afectar una pequeña parte del programa, de esta manera los cambios deben ser sencillos. Aun así hay que considerar que la implementación, es el último peldaño dentro de la solución al problema, por lo tanto, la manera en como es codificado es muy importante para el mantenimiento del sistema.

Tanto un jugador de ajedrez, como un cocinero, o un esquiador pueden corroborar que hay una gran diferencia entre saber acerca de algo y ese algo hacerlo bien. Dentro de la escritura de programas orientados a objetos es lo mismo. No es suficiente con conocer las reglas básicas para implementar un programa. Un programador experimentado sigue las reglas para hacer un programa legible y con un ciclo de vida mayor. De esta forma se puede decir que un buen estilo de programación es de suma importancia en la implementación de cualquier sistema, pero es aun más importante en el diseño y programación orientado a objetos, ya que el beneficio que puede dar el enfoque orientado a objetos es el desarrollar programas entendibles, reusables y extendibles, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.5. Arquitectura

La arquitectura establece la estructura básica del sistema. Se organiza en capas, en donde cada una de ellas es coherente (respecto al contenido o función) y tienen una *interface* bien definida y controlada. Cada capa puede ser construida sobre capas de nivel inferior, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.5.1. Subsistemas

Para todas las aplicaciones, excepto las más pequeñas, el primer paso en el diseño es dividir el sistema en un pequeño número de componentes. Cada componente mayor de un sistema es llamado *subsistema*. Cada subsistema contiene aspectos del sistema, así mismo comparte algunas propiedades similares de funcionalidad, tales como la misma ubicación física o ejecución del mismo género de hardware. Por ejemplo, una computadora de una nave espacial puede incluir subsistemas para apoyo de supervivencia, navegación, control de máquinas y ejecución de experimentos científicos, [RUMBAUGH, 1991].

Un subsistema no es un objeto, ni una función, sino un paquete de clases, asociaciones, operaciones, eventos y una restricción relacionada y lógicamente bien definida, así como una pequeña interface con otros subsistemas. Un subsistema es comúnmente identificado por los *servicios* que provee. Un *servicio* es un grupo de

funciones relacionadas que comparten un propósito común, tal como procesamiento de E/S, diseño de diagramas, o ejecución aritmética, [RUMBAUGH, 1991].

Cada subsistema tiene una interface bien definida con el resto del sistema. La interface especifica la forma de todas las interacciones y flujo de información a través de las fronteras del sistema, pero no especifica como está implementado internamente el subsistema. Cada subsistema puede ser diseñado independientemente sin afectar a otros subsistemas, [RUMBAUGH, 1991].

3.2.6. Esquema cliente servidor (relación entre dos subsistemas)

La relación entre dos subsistemas puede ser *cliente-proveedor* o punto-a-punto. En una relación cliente-proveedor, el cliente llama al proveedor, el cual ejecuta algún servicio y responde con el resultado. El cliente conoce la interface del proveedor, pero el proveedor no necesita conocer la del cliente. En una relación punto-a-punto, cada subsistema puede llamar a los otros. La comunicación de un subsistema a otro no es necesariamente seguida de una respuesta inmediata. Esta interacción es más complicada, ya que el subsistema debe conocer cada una de las otras interfaces, [RUMBAUGH, 1991].

Los diagramas que representan la estructura cliente servidor entre los subsistemas, seguirán el patrón de la figura 3.3.

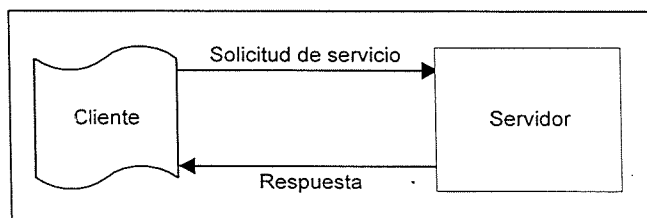


Figura 3.3. Patrón de los diagramas cliente servidor entre subsistemas.

4. DESARROLLO

4.1. Análisis

4.1.1. Introducción

Durante el desarrollo de un sistema, utilizando una metodología orientada a objetos, se aplican varias etapas, la primera de ellas es el Análisis, esta fase tiene como propósito construir un modelo (arquitectura) del sistema que se pretende implementar. De esta manera, en esta sección se describe la arquitectura del sistema que determinará los índices de peligro de incendio de la zona forestal de Baja California, el cual lleva por nombre Índices de Peligro de Incendio Geográficos (IPIG), mismo que será utilizado por el INIFAP, para concretar qué zonas tienen mayor peligro de incendio partiendo de las condiciones ambientales y de un modelo de combustible dado.

4.1.2. Requerimientos del sistema

Las funciones principales que debe desempeñar el IPIG, son las siguientes:

- Cálculo de los índices de peligro de incendio.
 - Calcular SC, IC, BI, FLI, Retardo de combustible de 1Hr, 10 Hrs, y 100 Hrs.
- Almacenamiento de resultados en una Base de Datos.
- Generar los mapas georeferenciados que contendrán los índices de peligro de incendio.
- Presentar resultados de manera geográfica y tabular.
- El sistema debe funcionar en el ambiente Arcview 3.0.

4.1.3. Alcance del Análisis

El análisis del sistema incluye una concisa descripción de lo que será el alcance del IPIG (características del sistema), menciona también de manera breve la metodología utilizada, además de definir el modelado del sistema (Modelo de Objetos, Modelo Dinámico y Modelo Funcional).

4.1.4. Alcance del Sistema

El sistema IPIG tiene como finalidad la determinación de índices de peligro de incendio en las zonas forestales de Baja California. El sistema se limitará a solo esta tarea aplicada en el área antes mencionada. Las características de esta aplicación son las siguientes:

- El sistema IPIG permitirá que el usuario seleccione una de dos opciones disponibles, cálculo de índices de peligro de incendio o visualización de índices de peligro de incendio, geográficos y tabulares.
- El usuario podrá seleccionar la fecha de los IPI que desee calcular. es decir, en la base de datos se tendrá almacenada la información meteorológica, para que esté disponible cada vez que el usuario desee realizar dichos cálculos. Dicha información se actualiza diariamente mediante el sistema SADAM (Sistema de Adquisición de DATos Meteorológicos). Además de la fecha, el usuario debe proporcionar la nubosidad de cada estación virtual. El resto de la información (modelos de combustibles, número y cantidad de estaciones virtuales, número y cantidad de polígonos, datos meteorológicos, etc.) es tomada de la base de datos.

Nota: La información meteorológica es almacenada en la base de datos por el sistema SADAM, el cual no forma parte directa del sistema IPIG, es decir, este sistema procesa y graba la información que utiliza el sistema IPIG en los cálculos de los índices de peligro de incendio.

- El sistema determinará que zonas tienen mayor riesgo de incendio, más no simulará la propagación de éste.
- El IPIG cubrirá solo las zonas donde se encuentren instaladas las estaciones virtuales en el territorio de Baja California.

Nota: Estas estaciones virtuales son colocadas estratégicamente por los expertos del proyecto, de acuerdo con los niveles de altitud que existen en la región.

4.1.5. Metodología

El análisis del IPIG será realizado utilizando la metodología *Object Modeling Technique* (OMT), descrita en el punto 3.2.3 del Marco Teórico.

4.1.6. Modelado del sistema

En esta parte del desarrollo se presenta la descripción del sistema, en base a los tres modelos de la metodología orientada a objetos OMT, que se describe en el Marco Teórico.

4.1.6.1. Modelo de Objetos

El diagrama de la figura 4.1 representa la estructura estática del modelo del sistema, dicho modelo se elaboró partiendo de la información obtenida del marco teórico, obteniendo así el modelo de objetos del sistema, el cual contiene siete clases; además este modelo contiene cinco asociaciones entre clases, de las cuales una es agregación.

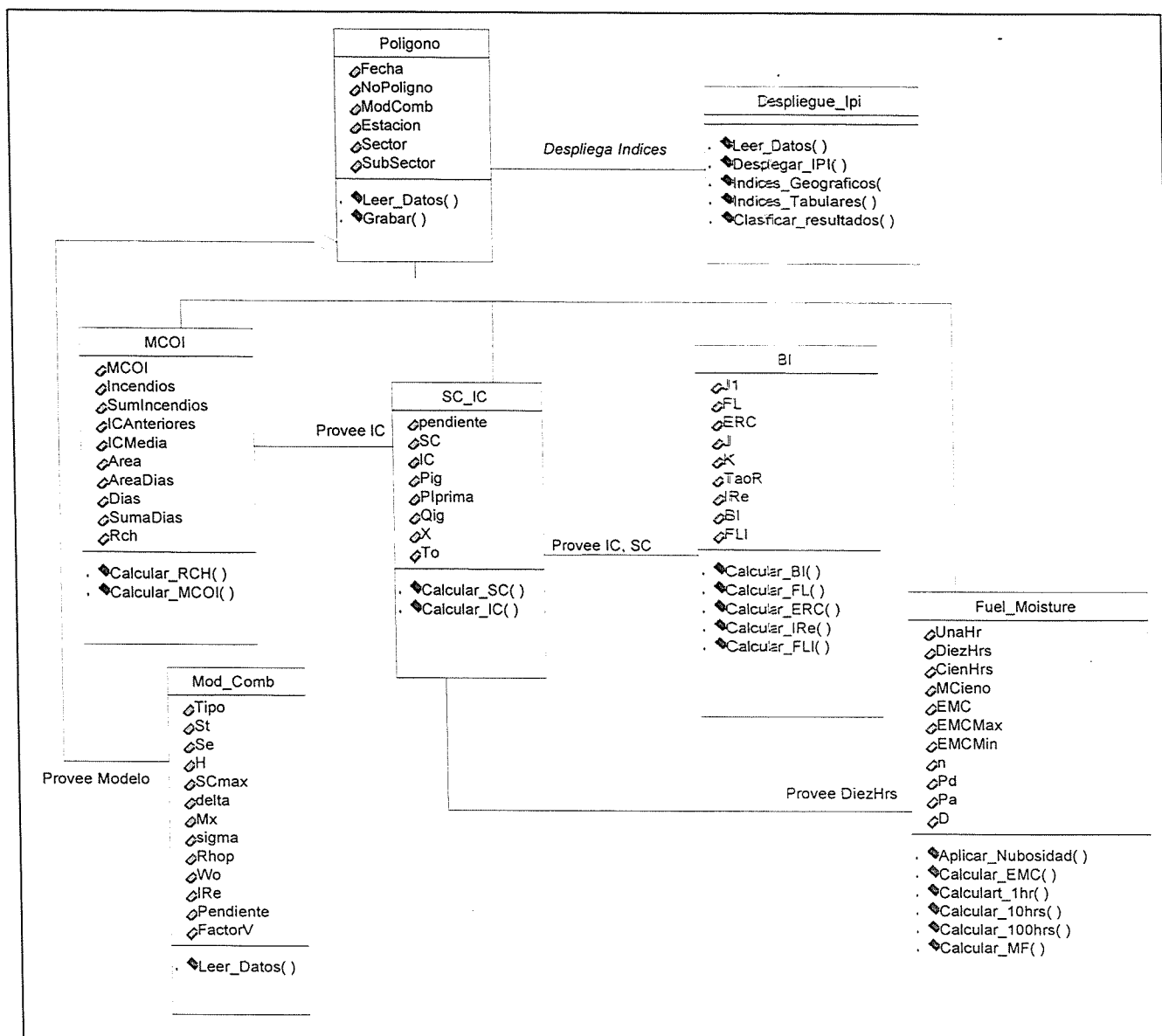


Figura 4.1. Análisis: Modelo de Objetos del Sistema IPIG.

4.1.6.2. Modelo Dinámico

El modelo del sistema IPIG no tiene un comportamiento muy dinámico, ya que las operaciones realizadas son el cálculo de índices de peligro de incendio y posteriormente el despliegue de los resultados (geográficos y tabulares), este último solo si el usuario lo desea.

El comportamiento dinámico, se reduce a lo siguiente:

Cálculo de IPI: Donde el usuario ordena al sistema el cálculo de los índices e introduce una serie de datos necesarios para iniciar la operación; al concluir, el sistema graba los resultados en la base de datos, para ser usados posteriormente en el despliegue.

Despliegue de IPI: Una vez obtenidos los índices de peligro de incendio, el usuario ordena al sistema el despliegue, tanto de los datos tabulares como geográficos, los cuales son leídos de la base de datos antes de ser presentados.

En la figura 4.2 se ilustran los dos casos de uso de este modelo.

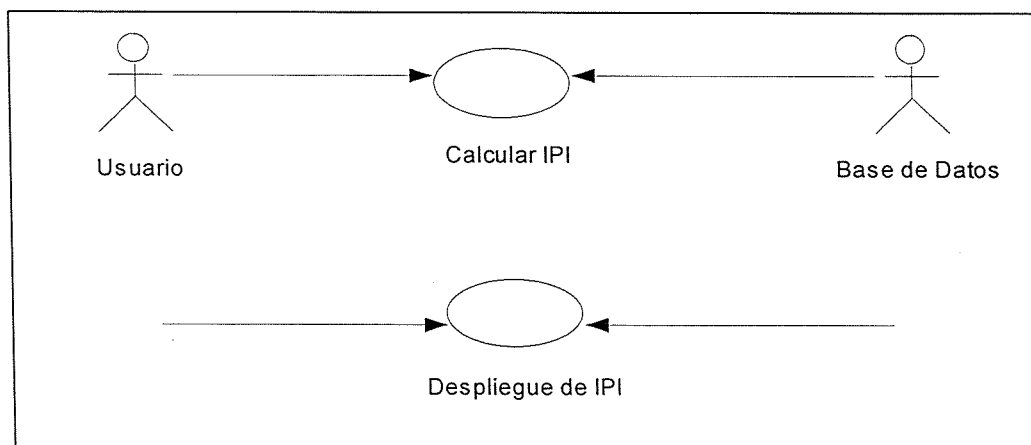


Figura 4.2. Análisis: Modelo Dinámico del Sistema IPIG.

Para ahondar más en el modelo se presentan los diagramas de escenarios para cada uno de los dos casos de uso mencionados.

4.1.6.2.1. Cálculo de IPI

Para llevar a cabo el cálculo de índices de peligro de incendio, como se mencionó anteriormente hay que introducir algunos datos para dar inicio a la operación, después el sistema lee de la base de datos la información complementaria para continuar con el proceso y posteriormente, grabar a la base de datos los resultados obtenidos.

El proceso es descrito en el siguiente escenario:

1. El usuario ordena al sistema calcular los índices de peligro de incendio.
2. El sistema pide al usuario introducir datos de entrada necesarios.
3. El sistema demanda de la base de datos información complementaria para continuar el proceso.
4. La información complementaria es recuperada de la base de datos.
5. Se calculan los índices.
6. Son grabados los resultados a la base de datos.

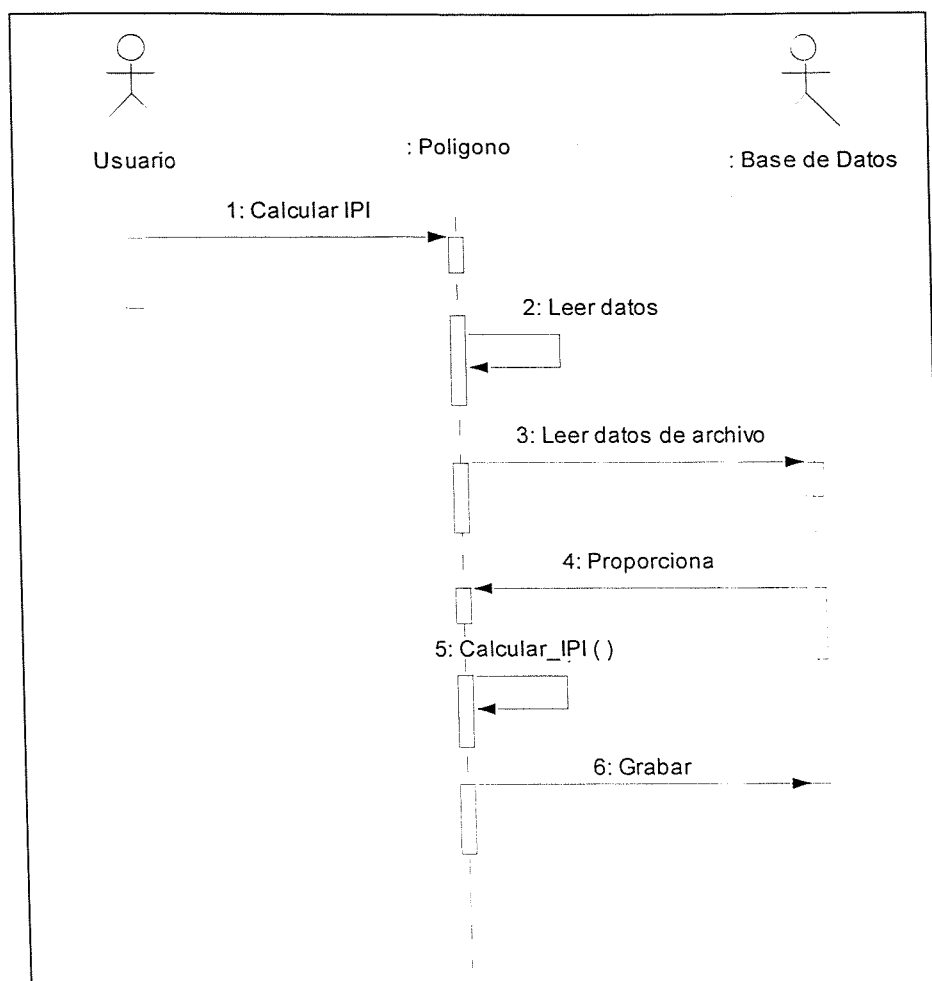


Figura 4.3. Análisis: Diagrama de Escenarios del Cálculo de IPI del Sistema IPIG.

4.1.6.2.2. Despliegue de IPI

Después de hacer los cálculos necesarios para obtener los índices de peligro de incendio, se puede proceder a visualizar la información, tanto de manera geográfica como tabular; para poder llevar a cabo este proceso el usuario tiene que ordenarlo al sistema, ya que no se realiza de manera automática.

El proceso es descrito en el siguiente escenario:

1. El usuario ordena al sistema el despliegue de índices de peligro de incendio, tanto geográficos como tabulares.
2. El sistema demanda de la base de datos la información para llevar a cabo el proceso.
3. Es recuperada la información de la base de datos.
4. Se despliegan los resultados geográficos y tabulares.

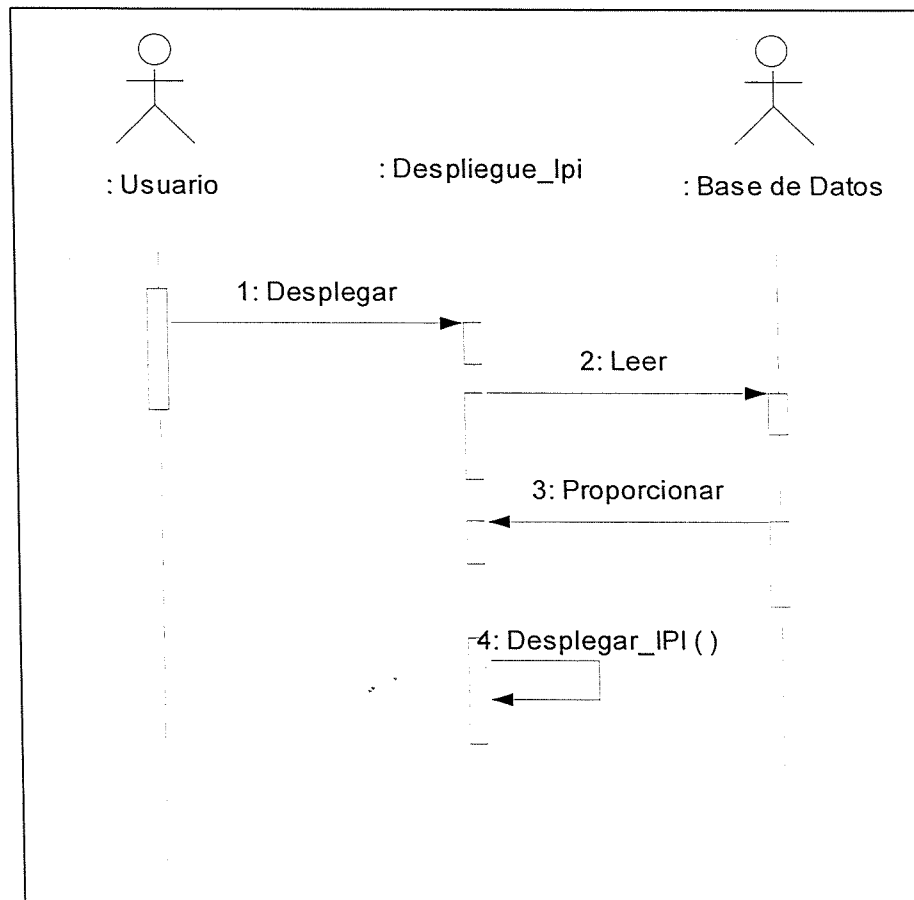


Figura 4.4. Análisis: Diagrama de Escenarios del **Despliegue de IPI** del Sistema IPIG.

4.1.6.3. Modelo de Funcional

El diagrama presentado en la figura 4.5 muestra el modelo funcional del sistema, en donde es representado como un proceso con flujo de información de entrada y salida, dentro del cual se generan dos subprocesos, el cálculo de los índices de peligro de incendio y el despliegue de estos.

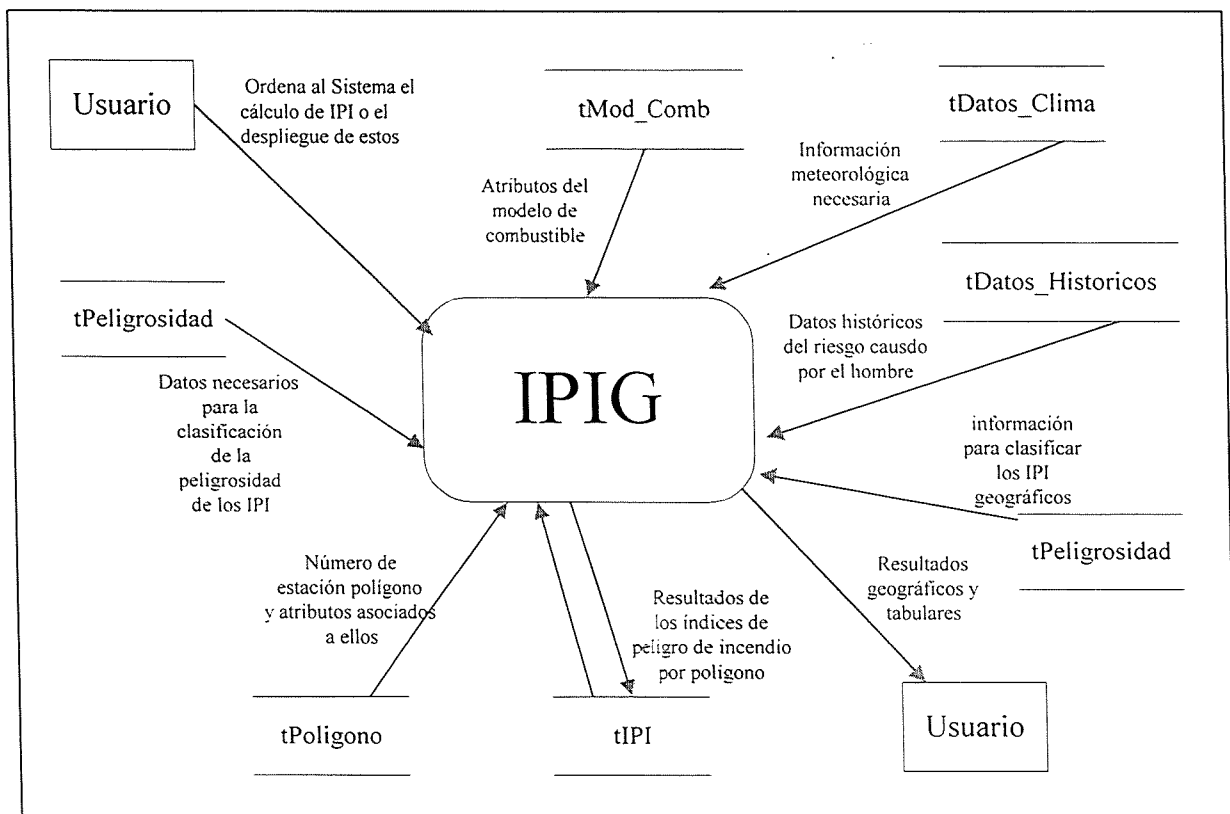


Figura 4.5. Análisis: Modelo Funcional del Sistema IPIG.

4.1.6.3.1. Cálculo de IPI

El cálculo de IPI es uno de los dos procesos principales llevados a cabo en el sistema, donde su función es obtener los índices de peligro de incendio a partir de una serie de datos de entrada, y grabar estos resultados a la base de datos para su uso posterior, como lo muestra la figura 4.6.

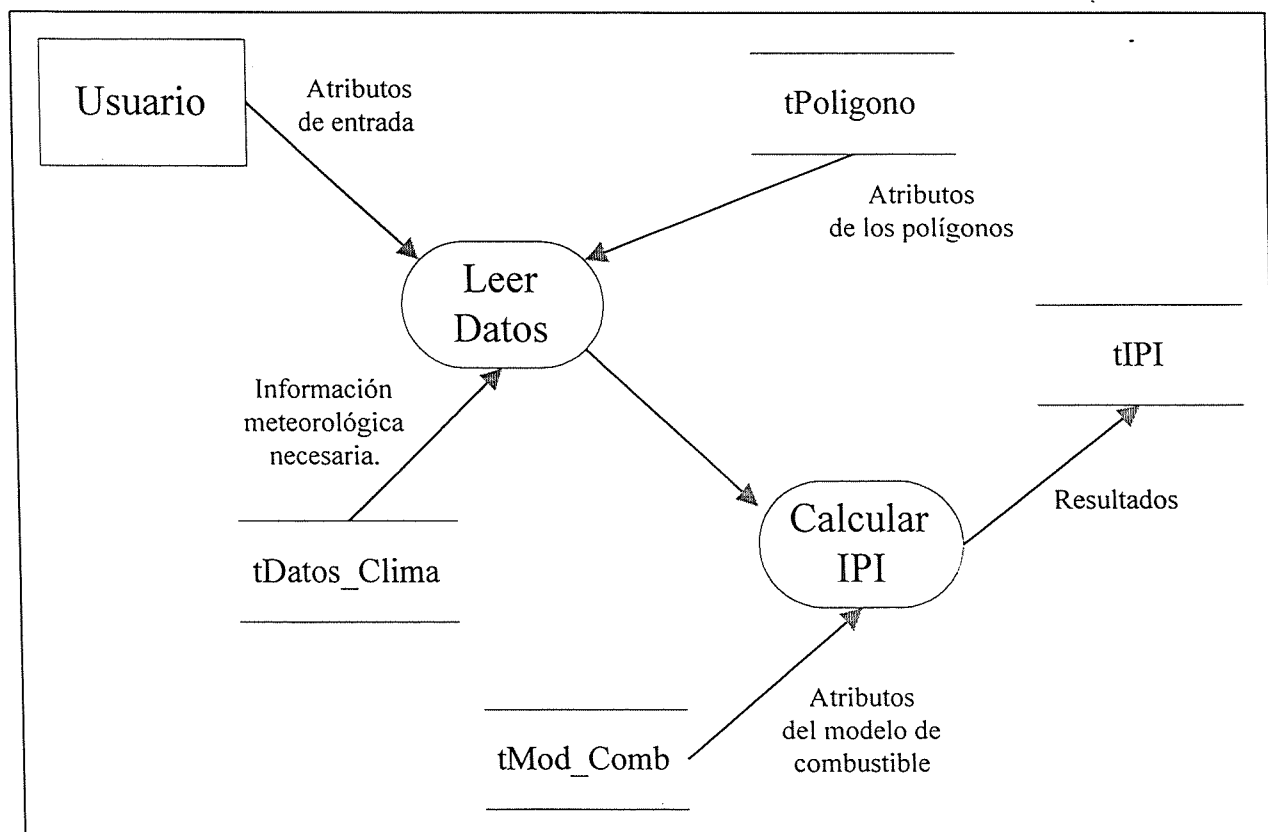


Figura 4.6. Análisis: Diagrama Funcional del Cálculo de IPI del Sistema IPIG.

4.1.6.3.2. Despliegue de IPI

El otro proceso importante es el despliegue de IPI, el cual se realiza a petición del usuario para visualizar los resultados obtenidos para cada zona dentro del área forestal cubierta. Para llevar a cabo este proceso, el sistema lee de la base de datos los resultados del cálculo de los índices de peligro de incendio para presentarlos al usuario tanto de manera geográfica como tabular.

El siguiente diagrama, muestra el flujo de información que hay entre los procesos del módulo para el despliegue geográfico y despliegue tabular de los índices de peligro de incendio.

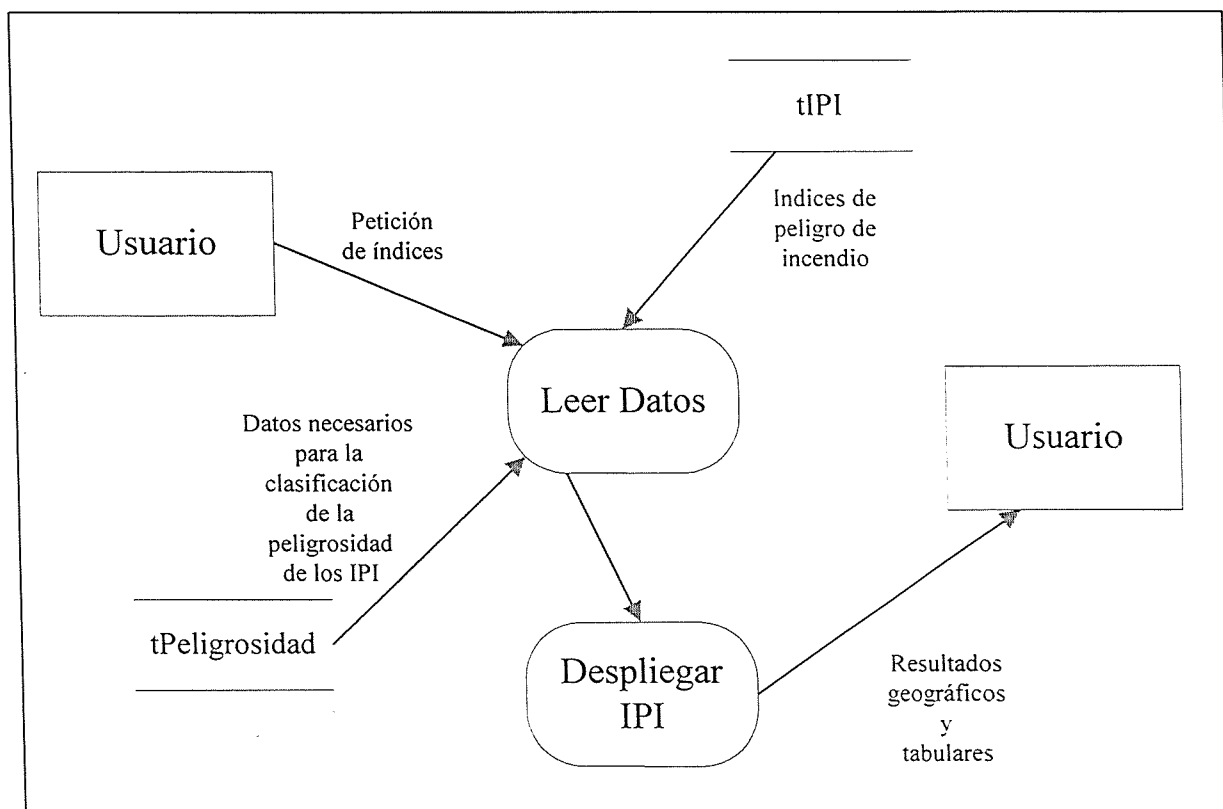


Figura 4.7. Análisis: Diagrama Funcional del Despliegue de IPI del Sistema IPIG.

4.2. Diseño

4.2.1. Introducción

Como en todos los sistemas el Diseño es la fase siguiente al Análisis. En esta etapa del desarrollo se describe el diseño del sistema IPIG, el cual tiene como objetivo principal automatizar el cálculo de los índices de peligro de incendio de la zona forestal de Baja California, así como también presentar los resultados obtenidos de manera geográfica y tabular.

Las funciones principales que debe proveer el IPIG son:

- Leer los parámetros de entrada, tanto de la base de datos como los proporcionados por el usuario, para proceder a realizar las operaciones necesarias del modelo NFDRS, para obtener los índices de peligro de incendio.
- Calcular los índices de peligro de incendio para cada uno de los sectores de la zona forestal del Estado y grabar los resultados obtenidos en la base de datos.
- Presentar los resultados obtenidos para cada polígono, despliegue de resultados geográficos clasificados por su nivel de peligrosidad, así como resultados tabulares.

4.2.2. Alcance del Diseño

Esta parte del documento presenta las decisiones de diseño de IPIG. Incluye la propuesta de arquitectura del sistema, donde se muestra la dependencia, en forma modular, entre equipo, programas y la especificación de requerimientos del dominio de la aplicación.

La especificación para cada uno de los subsistemas de IPIG muestra los diagramas de clases, diagramas de eventos y diccionario de datos. En los diagramas de clases aparece la leyenda “*from título*”, donde *título* corresponde al nombre asignado al subsistema, mostrando la relación de clases entre distintos subsistemas.

4.2.3. Metodología

Tomando como base OMT para el diseño, durante esta etapa del desarrollo, se plantea la arquitectura del sistema, se organiza la estructura en subsistemas, se escoge la estrategia para almacenamiento de datos, se seleccionan los mecanismos de control de software y recursos, se consideran las condiciones de frontera así como las prioridades para la implementación.

4.2.4. Arquitectura

IPIG se caracteriza por tener una *interface* sencilla de operar. El sistema se divide en cuatro subsistemas, **Aplicación IPIG**, **Cálculo de IPI**, **Despliegue de IPI**, y **Base de Datos**. Ver figura 4.8.

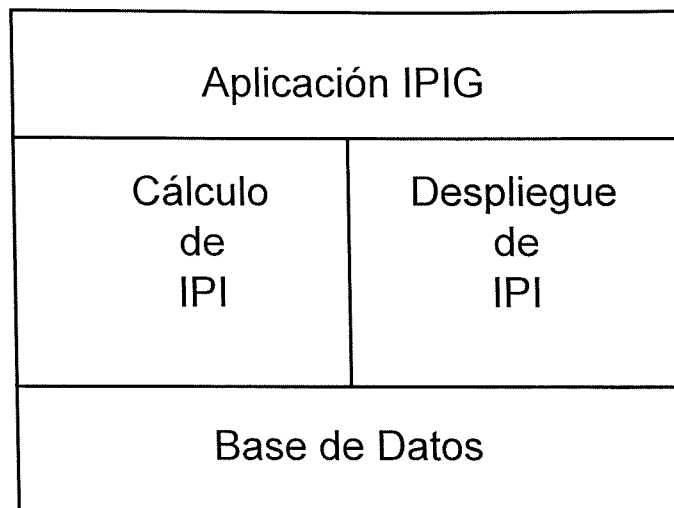


Figura 4.8. Diseño: Arquitectura del Sistema IPIG (División en subsistemas).

La arquitectura del sistema indica los siguientes subsistemas

Aplicación IPIG. Este subsistema contiene la *interface* que permite al usuario interactuar con el sistema.

Cálculo de IPI. Subsistema que realiza las operaciones necesarias para obtener los índices de peligro de incendio de la zona de estudio. La información de entrada para este subsistema es la siguiente: aspectos meteorológicos, atributos del modelo de combustible correspondiente para cada polígono, así como datos históricos de siniestros ocurridos en años anteriores.

Despliegue de IPI. La función de este subsistema es presentar al usuario los resultados obtenidos, geográficos y tabulares, de manera clara y sencilla para que puedan ser interpretados.

Base de Datos. Subsistema que provee las capacidades de almacenar y consultar información.

4.2.4.1. Dependencia entre subsistemas

Las dependencias entre subsistemas se muestran en la figura 4.9 donde las flechas indican la dependencia que hay entre estos; el subsistema **Aplicación IPIG** esta estrechamente ligado a **Cálculo de IPI** y **Despliegue de IPI**, mientras que los subsistemas de **Cálculo de IPI** y **Despliegue de IPI** interactúan, también, con el subsistema de **Base de Datos**.

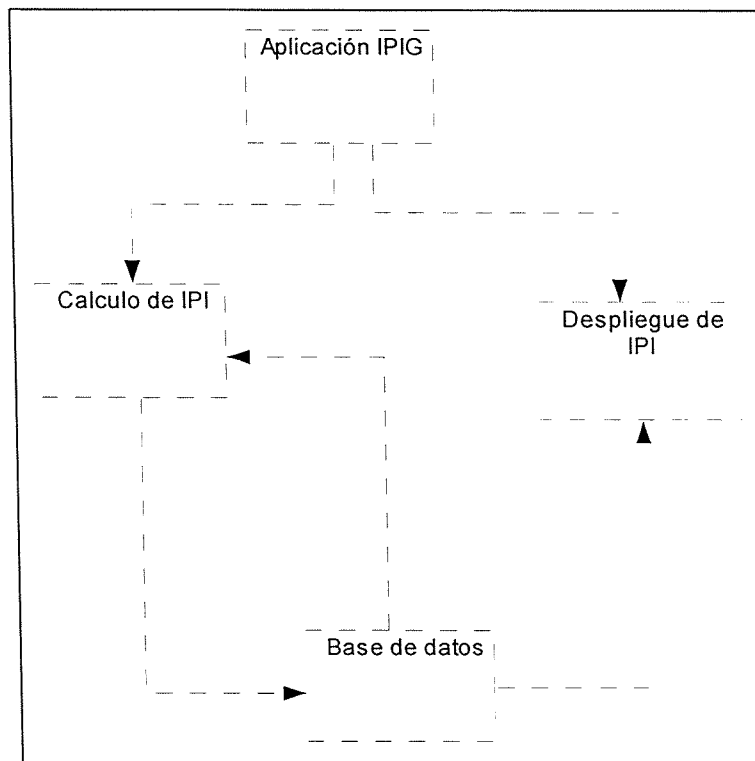


Figura 4.9. Diseño: Dependencia entre subsistemas del Sistema IPIG.

4.2.5. Relación entre subsistemas

Como se definió anteriormente, el sistema está compuesto por cuatro subsistemas. La relación entre ellos puede ser vista de la forma cliente-servidor, ya que un subsistema solicita los servicios de otro y solo necesita conocer la interface del sistema que actúa como servidor. La relación de los subsistemas se describe a continuación:

El subsistema **Aplicación IPIG** (*Interface* con el usuario) tiene relación directa con dos subsistemas, **Cálculo de IPI** y **Despliegue de IPI**.

La relación que existe entre **Aplicación IPIG** y **Cálculo de IPI**, se basa específicamente, en la petición de los índices de peligro de incendio, así como en el paso de parámetro de entrada. La dependencia que hay entre **Aplicación IPIG** y **Despliegue de IPI** consiste en que, para que el usuario pueda ver los resultados, se necesita una *interface* de salida en la cual sean presentados, misma que es proporcionada por **Aplicación IPIG**.

Como se mencionó anteriormente **Cálculo de IPI** tiene relación con **Aplicación IPIG**, pero además depende de **Base de Datos**, debido al flujo de información que hay entre estos, el primero necesita extraer del segundo, atributos de los modelos de combustibles y datos complementarios para realizar sus operaciones, así como grabar los resultados obtenidos.

Despliegue de IPI además de relacionarse con **Aplicación IPIG**, guarda una estrecha correspondencia con **Base de Datos**, debido a que en este último se encuentran almacenados los resultados que deben ser presentados al usuario.

4.2.5.1. Relación de Aplicación IPIG con Despliegue de IPI

Cada vez que el usuario hace petición de los índices de peligro de incendio, el sistema trabaja internamente de manera similar a una relación cliente-servidor, esta relación es llevada a cabo por dos subsistemas, **Aplicación IPIG** y **Despliegue de IPI**, la función del primero es proporcionar al usuario una *interface* amigable, por medio de la cual hace la petición de los índices de peligro de incendio; la función del segundo es generar una presentación de resultados fácil de entender por el usuario, donde dichos resultados serán presentados en la *interface* de salida. La figura 4.10 muestra esta relación.

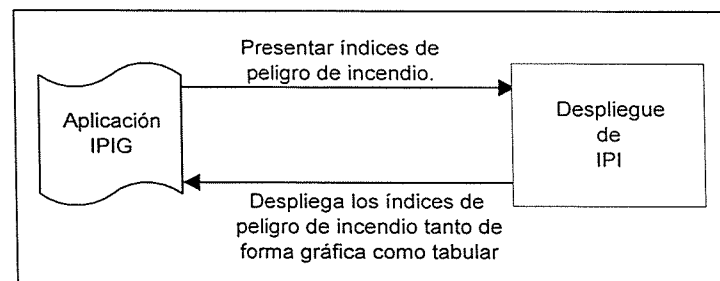


Figura 4.10. Diseño: Relación entre Aplicación IPIG y Despliegue de IPI del Sistema IPIG.

4.2.5.2. Relación de Despliegue de IPI con Base de Datos

La figura 4.11 presenta otra relación entre subsistemas que puede ser vista como cliente-servidor. Esta relación es la que guardan los subsistemas **Despliegue de IPI** y **Base de Datos**; esta situación se da cuando **Despliegue de IPI** solicita a **Base de Datos** los índices de peligro de incendio previamente calculados, para ser presentados al usuario después de darles un formato de salida para que el usuario no tenga problema alguno de entenderlos.

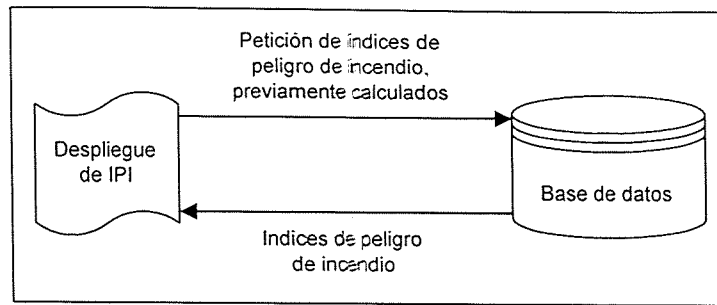


Figura 4.11. Diseño: Relación entre los subsistemas Despliegue de IPI y Base de Datos del Sistema IPIG.

4.2.6. Subsistemas

El diseño del sistema IPIG, está dividido en cuatro subsistemas, como se muestra en las figuras 4.8 y 4.9 (**Aplicación IPIG**, **Cálculo de IPI**, **Despliegue de IPI** y **Base de Datos**). La relación entre los subsistemas es cliente-proveedor ya que cuando uno necesita algún servicio, lo solicita al subsistema correspondiente, esperando una respuesta inmediata.

Esta sección describe cada uno de los subsistemas que forman IPIG. Donde para cada subsistema se presenta, donde sea pertinente, la siguiente información:

- Diagrama de clases.
- Casos de uso.
- Diagramas de escenarios.
- Diagramas funcionales.
- Algoritmos.
- Decisiones de diseño.

4.2.6.1. Aplicación IPIG

Este subsistema contiene clases de las ventanas de *interface* que permiten al usuario ejecutar las funciones del sistema. En la figura 4.12 se muestra el diagrama de clases.

Este subsistema tiene la función de establecer una comunicación amigable con el usuario. Las clases definidas en este subsistema son abstractas, ya que son solo como ayuda para el diseño, esto es, que durante la implementación del sistema se hará uso de las clases de interface que provea el lenguaje utilizado.

Todas las clases definidas en este subsistema tienen el prefijo "i", el cual nos sirve en el diseño para identificar que es una clase que pertenece a la interface.

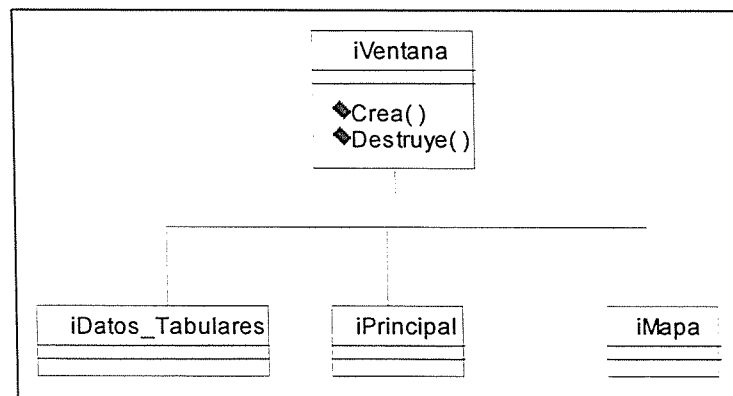


Figura 4.12. Diseño: Diagrama de clases del subsistema **Aplicación IPIG** del Sistema IPIG.

4.2.6.2. Cálculo de IPI

Este subsistema contiene las clases necesarias, con los métodos específicos para realizar los cálculos, con los cuales se obtendrán los índices de peligro de incendio causados por el hombre y los índices de quema. Esto se realiza a partir los datos de entrada proporcionados por el usuario, además de la información extraída de la base de datos, tal como, modelos de combustibles, estaciones virtuales, datos meteorológicos actualizados diariamente, datos históricos de incendios ocurridos en el área, así como también la información espacial de los modelos de combustible y tipos de vegetación contenidos en el mapa base. Toda esta información es sumamente necesaria para los fines que persigue el sistema, ya que en base a estos datos se van generando resultados intermedios, donde estos son de gran utilidad para el cálculo los resultados finales.

El subsistema se relaciona con **Aplicación IPIG** y con **Base de Datos**, la correspondencia que existe con el primero consiste en que este proporciona la conexión con el usuario para llevar a cabo las operaciones pertinentes; mientras que con **Base de Datos** la relación consiste en consultar y grabar información.

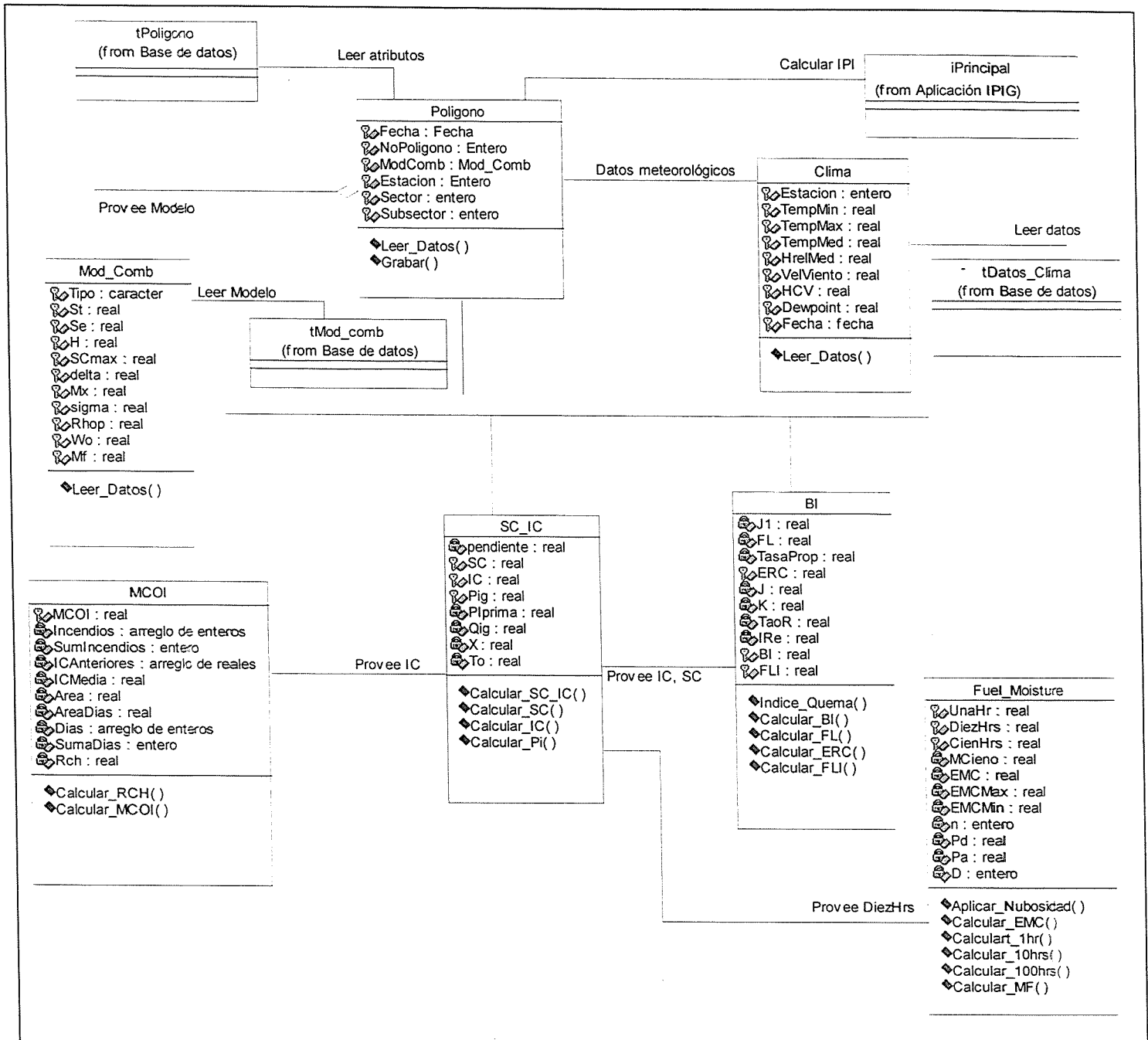


Figura 4.13. Diseño: Diagrama de clases del Cálculo de IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.2.1. Casos de Uso

4.2.6.2.1.1. Cálculo de índices de peligro de incendio

1. El usuario ordena al sistema el cálculo de los índices de peligro de incendio.
2. El sistema pide al usuario los atributos de entrada.
3. El usuario introduce los datos solicitados.
4. El sistema lee de la base de datos, la información necesaria para continuar con el proceso.
5. El sistema realiza las operaciones para obtener los índices de peligro de incendio.
6. El sistema almacena en la base de datos los resultados obtenidos.

4.2.6.2.2. Diagramas de escenarios del subsistema Cálculo de IPI

4.2.6.2.2.1. Calcular los componentes de propagación e ignición (SC e IC)

1. Cuando el usuario ordena al sistema calcular los índices de peligro de incendio, entonces, el sistema de manera interna realiza el cálculo del SC y el IC.
2. El sistema pide al usuario los datos de entrada necesarios para iniciar el proceso.
3. El sistema solicita los atributos del modelo de combustible así como los datos meteorológicos para cada estación virtual.
4. El sistema lee de la base de datos la información correspondiente para llevar a cabo el proceso.
5. La base de datos responde con la información solicitada.

6. Se provee la información correspondiente a cada estación virtual.
7. El sistema calcula el índice de propagación de cada estación virtual.
8. Se solicita el valor de la probabilidad de ignición.
9. Se calcula la probabilidad de ignición.
10. Se recibe el valor de la probabilidad de ignición.
11. El sistema calcula el componente de ignición de cada estación virtual.
12. Se graban los resultados a la base de datos.

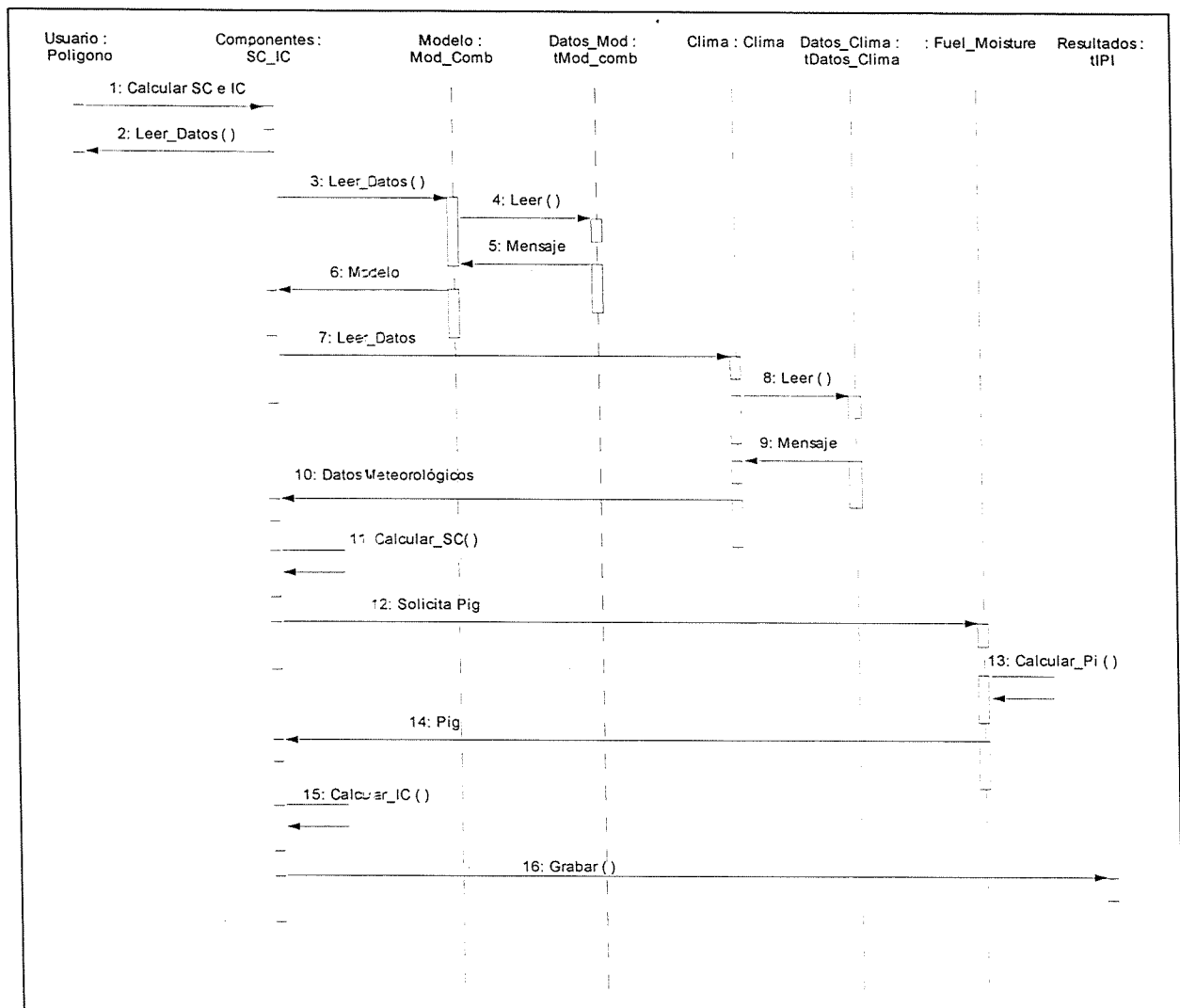


Figura 4.14. Diseño: Diagrama de escenarios para obtener los componentes de propagación e ignición del Sistema IPIG.

4.2.6.2.2.2. Calcular índice de quema (BI)

1. Cuando el usuario ordena al sistema calcular los índices de peligro de incendio, entonces, el sistema de manera interna realiza el cálculo del índice de quema.
2. La clase Indice_Quema solicita de la clase SC_IC los parámetros de entrada.
3. La clase SC_IC provee la información solicitada.
4. El sistema calcula el valor de IRe, necesario para calcular el BI.
5. El sistema calcula el valor del componente de energía liberada, necesario para calcular el BI.
6. El sistema calcula el valor de la longitud de la flama, necesario para calcular el BI.
7. Calcula el valor del índice de quema.
8. Se guardan los resultados anteriores en la base de datos.

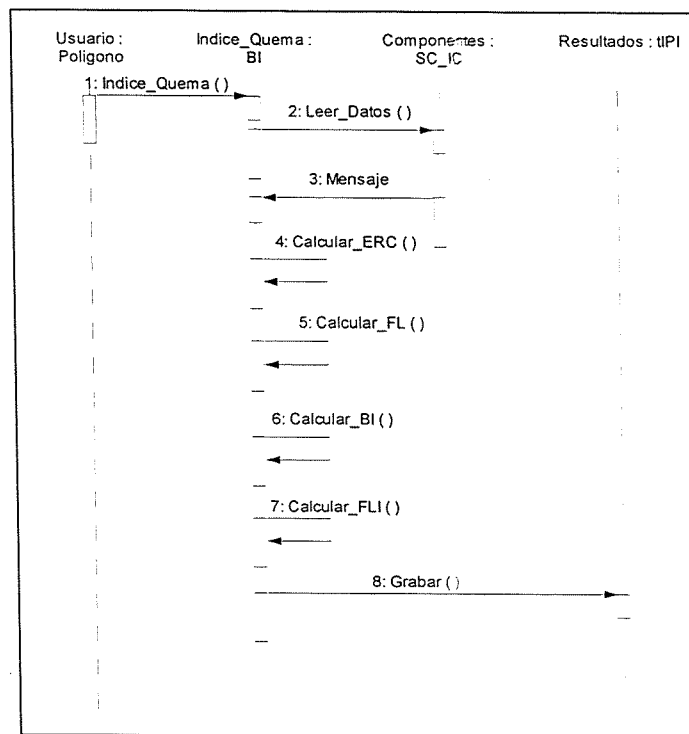


Figura 4.15. Diseño: Diagrama de escenarios para calcular el BI del Sistema IPIG.

4.2.6.2.2.3. Calcular la humedad del combustible (MF)

1. Cuando el usuario ordena al sistema calcular los índices de peligro de incendio, entonces, el sistema de manera interna calcula la humedad del combustible.
2. Se solicita al usuario los datos de entrada necesarios.
3. El usuario provee la información solicitada.
4. Se lee de la base de datos, la información complementaria para llevar a cabo el proceso.
5. La base de datos proporciona la información pedida.
6. Se calculan los valores del EMC máximo y del EMC mínimo.
7. Se calcula el valor de EMC promedio
8. El sistema calcula la humedad de combustible de 1 hr.
9. El sistema calcula la humedad de combustible de 10 hrs.
10. El sistema calcula la humedad de combustible de 100 hrs.
11. Los resultados son grabados en la base de datos.

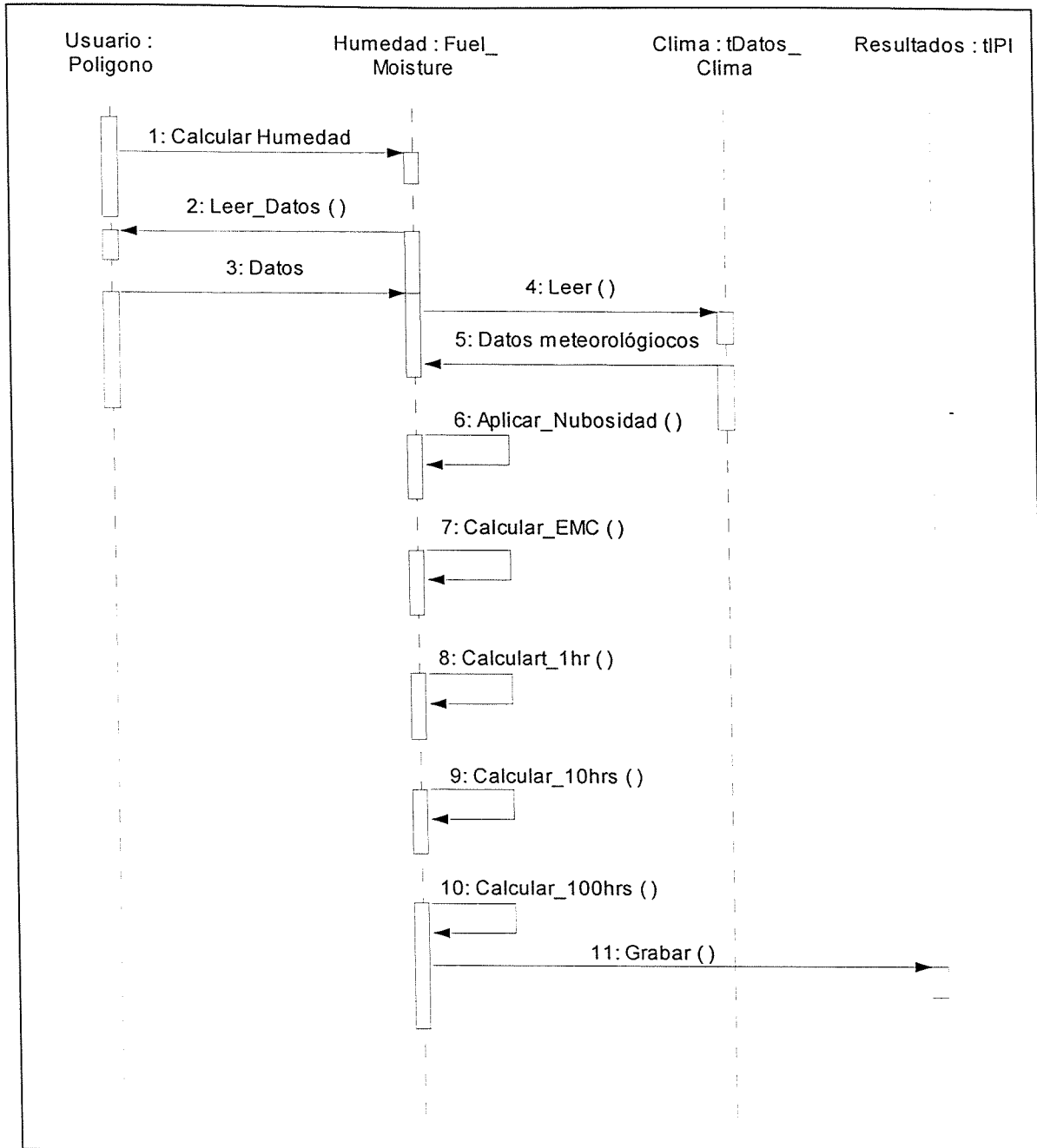


Figura 4.16. Diseño: Diagrama de escenarios para calcular la humedad del combustible del Sistema IPIG.

4.2.6.2.2.4. Calcular el índice de ocurrencia de incendio causado por el hombre (MCOI)

1. Cuando el usuario ordena al sistema calcular los índices de peligro de incendio, entonces, el sistema de manera interna realiza el cálculo del MCOI.
2. El sistema lee de la base de datos la información necesaria para llevar a cabo el proceso.
3. La base de datos responde con la información solicitada.
4. El objeto MCOI solicita a la clase SC_IC el valor del atributo IC.
5. La clase SC_IC provee la información solicitada.
6. El sistema calcula el riesgo causado por el hombre.
7. El sistema calcula el MCOI.
8. El sistema graba en la base de datos los resultados obtenidos.

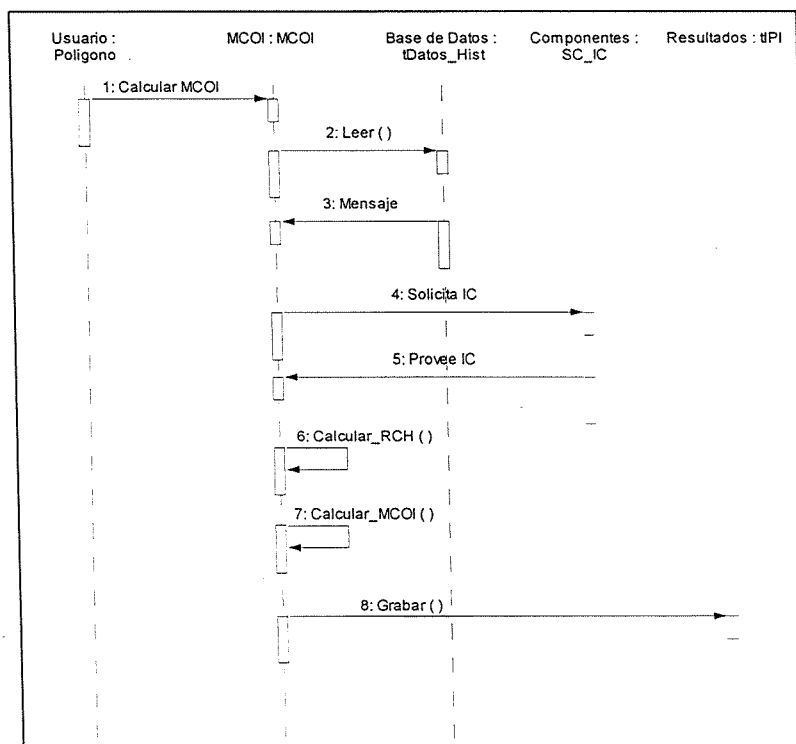


Figura 4.17. Diseño: Diagrama de escenarios para calcular el MCOI del Sistema IPIG.

4.2.6.2.3. Diagramas de flujo de datos del subsistema Cálculo de IPI

En el diagrama de la figura 4.18 se presenta el flujo de datos del subsistema **Cálculo de IPI**. Esta figura muestra la función del subsistema de una manera general, es decir, las entradas, el proceso interno y las salidas. Las entradas consisten en la información que proporciona el usuario y la que es leída de la base de datos. El proceso interno, consiste en el cálculo de los índices de peligro de incendio, mientras que las salidas son dichos índices.

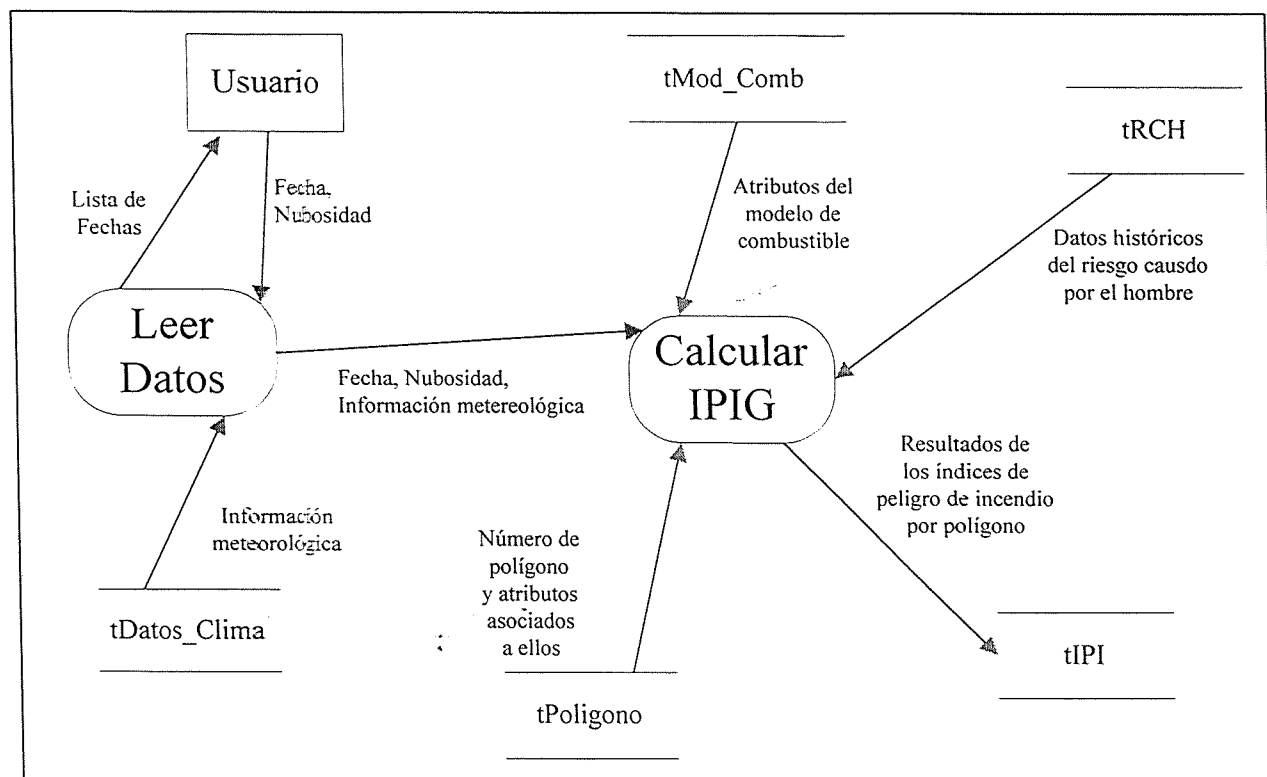


Figura 4.18. Diseño: Diagrama funcional del subsistema Cálculo de IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.2.3.1. Calcular los componentes de propagación e ignición (SC e IC)

El diagrama de la figura 4.19 muestra el flujo de datos entre procesos para el cálculo de los componentes de propagación e ignición. Donde cada uno de estos es un índice de peligro de incendio.

El proceso es el siguiente, cuando el usuario ordena al sistema el cálculo de los IPI, se procede a obtener el valor del componente de propagación, para esto se lee de la base de datos, tanto la información meteorológica, el modelo de combustible así como los atributos de los polígonos. Una vez obtenido el SC, se pasa el valor de este atributo al módulo que calcula el IC, este módulo también solicita el valor de la probabilidad de ignición para obtener el resultado del componente de ignición, así mismo el módulo Calcular_MF proporciona el valor del atributo DiezHrs de retardo de combustible, útil para calcular la probabilidad de ignición. Finalmente cuando se ha obtenido tanto el SC, como el IC, entonces se envía la información a la base de datos.

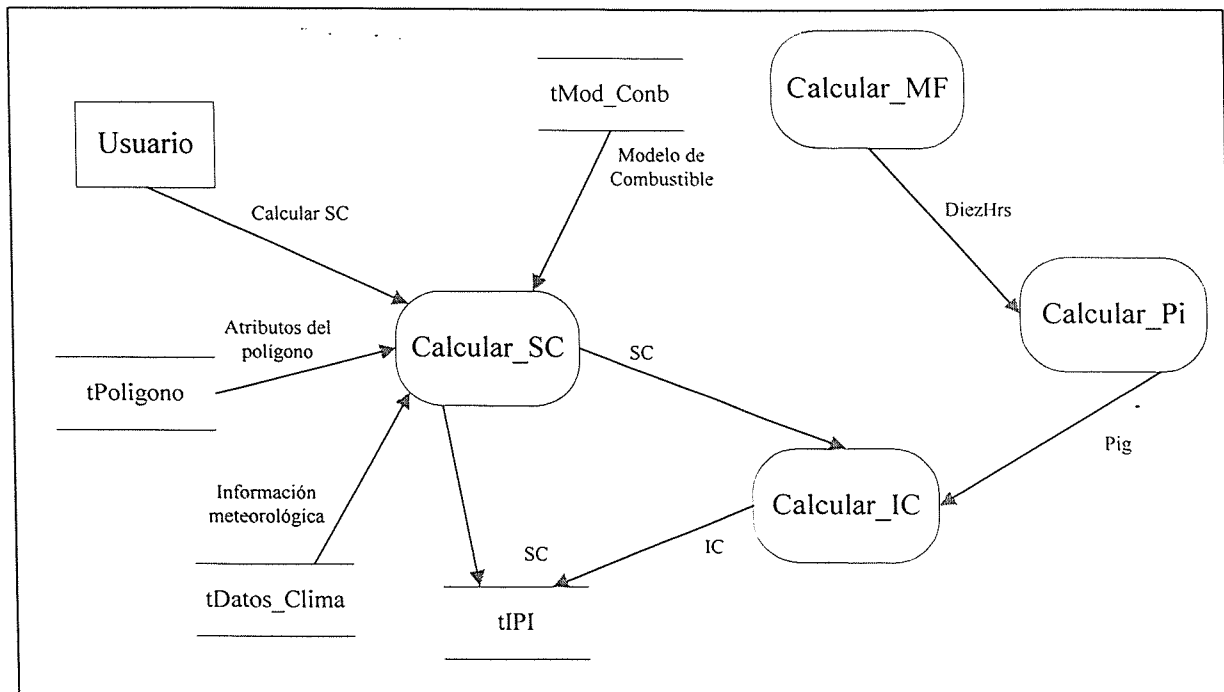


Figura 4.19. Diseño: Diagrama funcional para calcular los componentes de propagación e ignición de los IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.2.3.2. Calcular índice de quema (BI)

En el diagrama de la figura 4.20 se muestra el flujo de datos entre procesos para el cálculo del índice de quema (BI).

El proceso es de la siguiente manera, una vez obtenidos los valores de SC e IC, entonces es posible calcular el valor del BI de cada polígono. Para continuar con este proceso, es necesario leer de la base de datos un atributo de los modelos de combustibles, así como los atributos de los polígonos, además de solicitar el valor correspondiente del

SC. Después, se hacen los cálculos pertinentes para obtener el BI, para finalmente enviar el resultado a la base de datos.

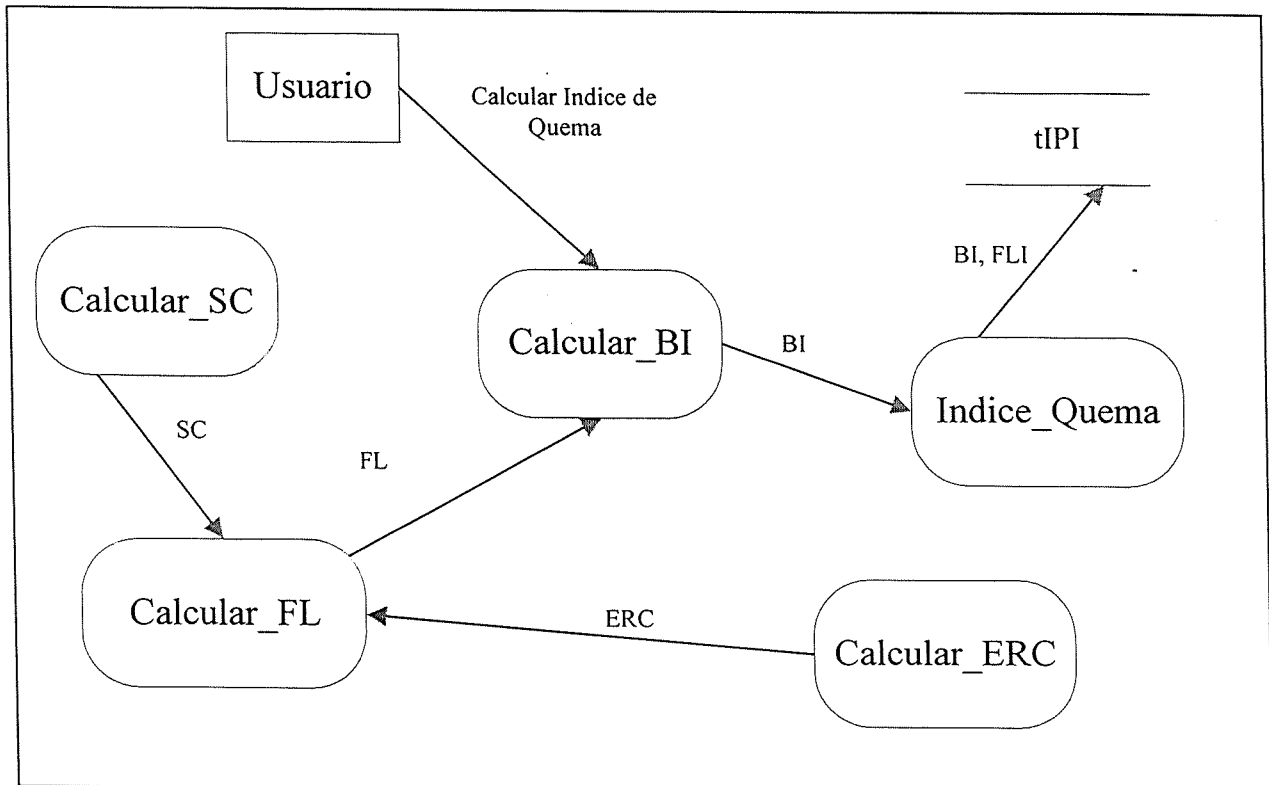


Figura 4.20. Diseño: Diagrama funcional para calcular el índice de quema del Sistema IPIG.

4.2.6.2.3.3. Calcular la humedad del combustible (MF)

Los diagramas de las figuras 4.21 y 4.22 muestran el flujo de datos entre procesos para el cálculo del retardo de humedad de los combustibles (1 hr, 10 hrs, 100 hrs). El flujo de información de este proceso se ha dividido en dos diagramas, debido a la cantidad de operaciones que se realizan.

En el primer diagrama se muestra el flujo de información de manera general, es decir, solo se denotan las entradas y salidas, así como el módulo principal. El proceso se hace de la siguiente manera, se le pide al usuario que proporcione la nubosidad correspondiente a cada estación virtual, después se lee de la base de datos la información meteorológica, para cada una de las estaciones virtuales, posteriormente se calculan los valores correspondientes a retardo de combustible de 1 hr, 10 hrs y 100 hrs y al final se envían los resultados a la base de datos.

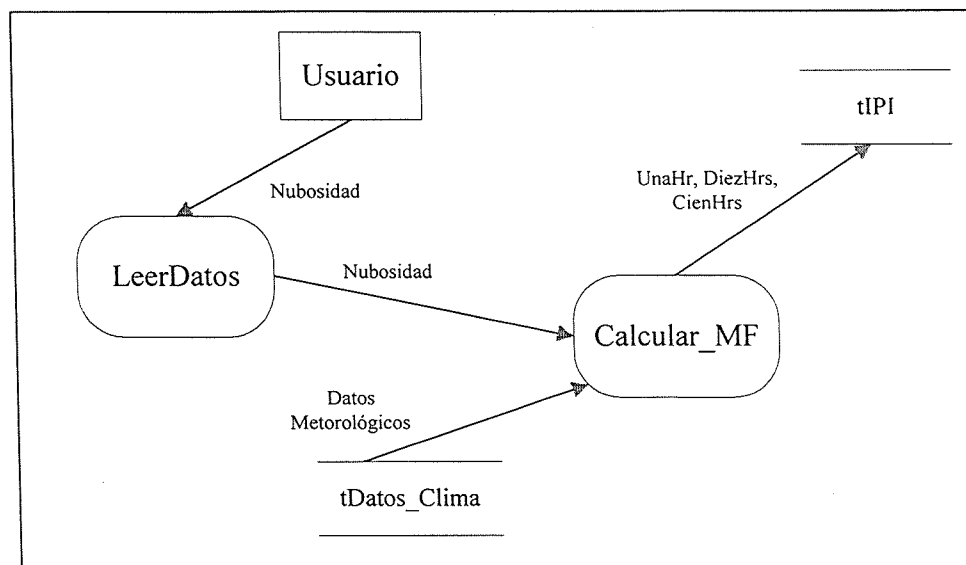


Figura 4.21. Diseño: Diagrama funcional para calcular el retardo de humedad de los combustibles del Sistema IPIG.

El segundo diagrama de flujo, figura 4.22 ilustra el proceso interno, donde se detalla el proceso para calcular la humedad del combustible. El flujo de datos es de la siguiente manera, hay dos procedimientos que pueden ser calculados de manera simultanea, Calcular_EMC y Calcular_EMC_MAX_MIN; ambos procesos reciben la información meteorológica para realizar sus operaciones, el primero calcula el EMC, utilizado en los procedimientos Calcular_1Hr y Calcular_10Hrs, mientras que EMC_{max} y EMC_{min}, son los resultados del procedimiento Calcular_EMC_MAX_MIN, y estos resultados se utilizan para calcular el retardo de humedad de 100 Hrs. Finalmente después de obtener los resultados (1Hr, 10Hrs y 100Hrs), estos son grabados en la base de datos.

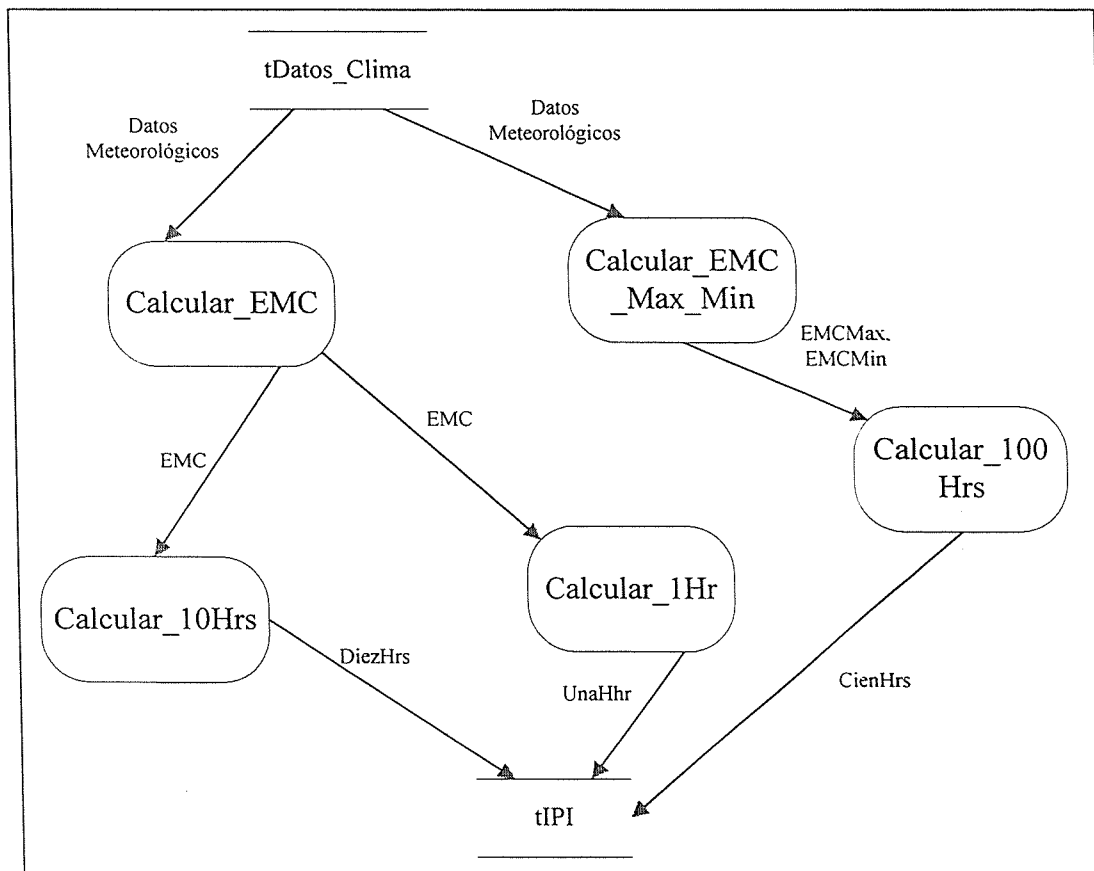


Figura 4.22. Diseño: Diagrama funcional detallado, para calcular el retardo de humedad de los combustibles del Sistema IPIG.

4.2.6.2.3.4. Calcular el índice de ocurrencia de incendio causado por el hombre (MCOI)

El flujo de datos para calcular el MCOI se muestra en la figura 4.23 cuando el usuario ordena al sistema el cálculo de los IPI uno de los resultados principales que se debe obtener es el MCOI; el procedimiento es de la siguiente manera, se lee de la base de datos la información histórica que contiene, la cantidad de incendios, área quemada, cantidad de días que duraron los incendios, el IC de cada uno de estos incendios, toda esta información de los últimos cinco años. Después se le solicita a la clase SC_IC el valor del atributo IC, con estos datos se calcula el Rch, una vez calculado el Rch, es posible obtener el MCOI y enviar el resultado a la base de datos.

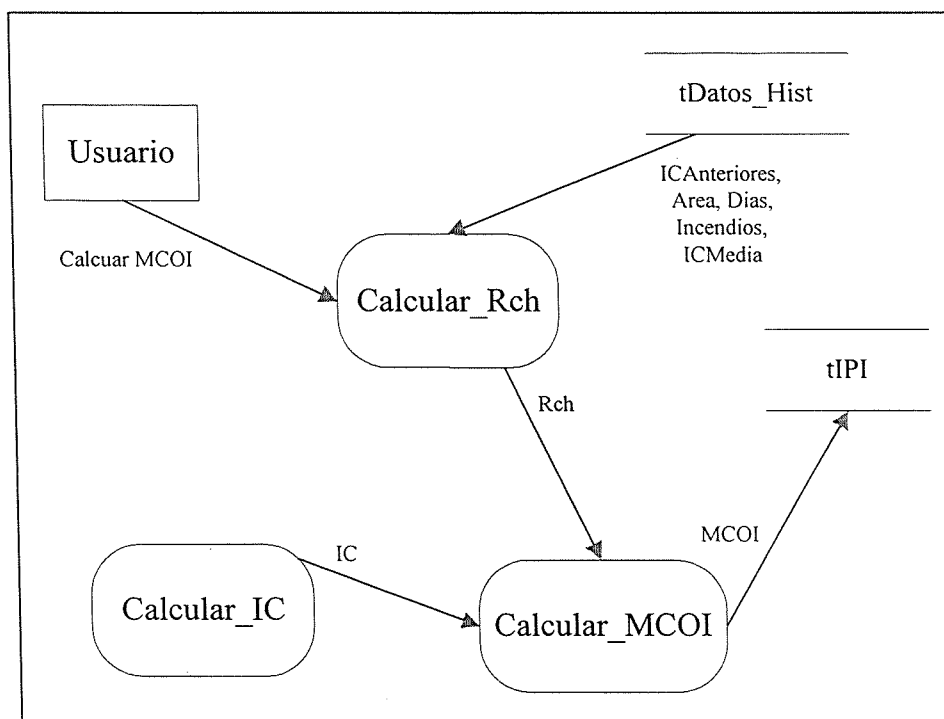


Figura 4.23. Diseño: Diagrama funcional para calcular el índice de peligro de incendio causado por el hombre del Sistema IPIG.

4.2.6.2.4. Algoritmos del subsistema Cálculo de IPI

Como se mencionó en la sección 4.2.4, la función del subsistema **Cálculo de IPI** consiste en realizar las operaciones necesarias, a través de los métodos propios del subsistema, para obtener los índices de peligro de incendio para cada polígono de la zona forestal del Estado de Baja California. Los métodos de las clases del subsistema, son descritos de manera algorítmica en esta sección, y estos serán la base para la implementación.

NOTA:

El grupo de algoritmos descrito a continuación, representa solo la parte principal del subsistema, es decir, los métodos utilizados para los cálculos importantes, más no así para las operaciones comunes de lectura y escritura, por ejemplo.

4.2.6.2.4.1. Calcular los componentes de propagación e ignición (SC e IC)

El siguiente algoritmo es utilizado para obtener los valores del componente de propagación e ignición, para cada polígono de la zona forestal de Baja California. La mecánica es la siguiente: primero se lee de la base de datos la información básica para llevar a cabo el procedimiento, después sigue un conjunto de ciclos dentro del cual se calculan tanto el SC como el IC, dentro de este conjunto de ciclos se toman cada uno de los sectores en que se encuentra dividida la zona forestal, después, para cada sector se toman sus subsectores, así mismo para cada subsector, se toman los modelos de combustibles que se encuentren en la zona. Una vez que se dispone de esta información,

se leen los atributos correspondientes al modelo de combustible, para finalmente calcular el SC e IC y grabar los resultados.

SC_IC.Calcular_SC_IC()

Inicio

Estaciones $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

Clima $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tDatos_Clima)

Pig $\leftarrow$ Calcular_Pi(Estaciones, Clima)

NumEstacion $\leftarrow$ 1

Sectores $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

Para cada sector en Sectores hacer

Inicio

Subsectores $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

Para cada subsector en Subsectores hacer

Inicio

Modelos $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tMod_Comb)

Para cada modelo en Modelos hacer

Inicio

SC $\leftarrow$ Calcular_SC(modelo, Clima[NumEstacion].Vel_Viento,

Diez_Hrs[NumEstacion])

IC $\leftarrow$ Calcular_IC(Pig[NumEstacion], SC, modelo.SCmax)

Grabar(NumEstacion, Modelo, Pig[NumEstacion], SC, IC)

Fin {Modelos}

```
    NumEstacion++  
  Fin {Subsectores}  
Fin {Sectores}  
Fin {Algoritmo}
```

4.2.6.2.4.1.1. Calcular la probabilidad de ignición (PI)

Con este algoritmo se calcula la probabilidad de ignición de cada estación virtual, misma que es utilizada posteriormente para el cálculo del componente de ignición. El proceso es como sigue: primero se obtiene la humedad de retardo de combustible de diez horas, así como la temperatura de cada estación virtual, posteriormente se procede al cálculo de la probabilidad de ignición de cada estación virtual, almacenando los resultados en una lista correspondiente a las estaciones virtuales

```
SC_IC.Calcular_Pi(Estaciones)
```

```
Inicio
```

```
  Diez_Hrs ← Humedad_Del_Combustible.Calcular_MF()
```

```
  Para cada estación en Estaciones hacer
```

```
    Inicio
```

```
      To ← (Clima.Temp[estacion] - 32) / 1.8
```

```
      Mf ← Diez_Hrs[estacion] / 100
```

```
      Qig ← (144.51) - (0.266 * To) - (0.00058 * To^2) - (To * Mf) +
```

```
        (18.54 * (1 - e^(-1.15 * Mf))) + (640 * Mf)
```

$$X \leftarrow (344 - Q_{ig}) / 10$$
$$P_{prima} \leftarrow ((0.000923) * (X^{3.66})) / 50$$
$$P_i \leftarrow (P_{prima} - 0.00232) * (100/0.99767)$$
$$P_{ig}[\text{estacion}] \leftarrow P_i$$

Fin

Retornar (P_{ig})

Fin

4.2.6.2.4.1.2. Calcular el componente de propagación (SC)

Con este algoritmo se calcula el componente de propagación, para cada modelo de combustible localizado en el entorno de una estación virtual, y después ser asignado a los polígonos de la estación que cuenten con dicho modelo. El proceso es el siguiente: primero se lee la información meteorológica de la base de datos, para posteriormente hacer los cálculos necesarios para obtener el SC.

SC_IC.Calcular_SC(Modelo, Vel_Viento, Mf)

Inicio

$$Rob \leftarrow \text{Modelo}.Wo / \text{Modelo}.Delta$$
$$A \leftarrow 1 / ((4.774 * (\text{Modelo}.Sigma^{0.1})) - 7.27)$$
$$BetaOp \leftarrow 3.348 * (\text{Modelo}.Sigma^{(-0.8189)})$$
$$beta \leftarrow Rob / \text{Modelo}.Rhop$$

$r_{\max} \leftarrow (\text{Modelo.Sigma}^{1.5}) * (1 / (495 + (0.0594 * (\text{Modelo.sigma}^{1.5}))))$

$r_{\text{prima}} \leftarrow r_{\max} * ((\text{beta} / \text{BetaOp})^A) * (\text{EXP}^{(A * (1 - (\text{beta} / \text{BetaOp}))))$

$w_n \leftarrow \text{Modelo.Wo} / (1 + \text{Modelo.St})$

$N_m \leftarrow 1 - (2.59 * (\text{Mf} / \text{Modelo.Mx})) + (5.11 * ((\text{Mf} / \text{Modelo.Mx})^2)) -$
 $(3.52 * ((\text{Mf} / \text{Modelo.Mx})^3))$

$N_s \leftarrow 0.174 * (\text{Modelo.Se}^{(-0.19)})$

$I_r \leftarrow r_{\text{prima}} * w_n * \text{Modelo.H} * N_m * N_s$

$x_1 \leftarrow 1 / (192 + (0.2595 * \text{Modelo.Sigma}))$

$x_2 \leftarrow \text{EXP}^{((0.792 + (0.681 * (\text{Modelo.Sigma}^{0.5}))) * (\text{beta} + 0.1))}$

$EE \leftarrow x_1 * x_2$

$C \leftarrow 7.47 * (\text{EXP}^{(-0.133 * (\text{Modelo.Sigma}^{0.55})))$

$B \leftarrow 0.02526 * (\text{Modelo.Sigma}^{0.54})$

$E \leftarrow 0.715 * (\text{EXP}^{(-3.59 * (0.0001 * \text{Modelo.Sigma})))$

$U \leftarrow \text{Vel_Viento} * (1056 / 12) * \text{Modelo.FactorV}$

$\text{Phiw} \leftarrow C * (U^B) * ((\text{beta} / \text{BetaOp})^{(-E)})$

$\text{Phis} \leftarrow 5.275 * (\text{beta}^{(-0.3)}) * (\text{Tan}(\text{Modelo.Pendiente})^2)$

$\text{epsilon} \leftarrow \text{EXP}^{(-138 / \text{Modelo.Sigma})}$

$Q_{ig} \leftarrow 250 + (1116 * \text{Mf})$

$SC \leftarrow (I_r * EE * (1 + \text{Phiw} + \text{Phis})) / (\text{Rob} * \text{epsilon} * Q_{ig})$

$\text{Retornar}(SC)$

Fin

4.2.6.2.4.1.3. Calcular el componente de ignición (IC)

Calcula el componente de ignición de cada modelo de combustible localizado en el entorno de una estación virtual, para después ser asignado como resultado a los polígonos de la estación que cuenten con dicho modelo. El proceso es el siguiente: primero se lee la información meteorológica de la base de datos, para posteriormente hacer los cálculos necesarios para obtener el IC.

SC_IC.Calcular_IC(PI, SC, SCmax)

Inicio

$SCn \leftarrow SC / SC_{max} * 100$

$IC \leftarrow PI * 0.1 * (SCn ^ {0.5})$

Retornar(IC)

Fin

4.2.6.2.4.2. Calcular índice de quema (BI)

Calcula el índice de quema, para cada polígono de la zona forestal de Baja California. El algoritmo recibe de entrada atributos del modelo de combustible, así como el valor del SC. Durante el proceso llevado a cabo dentro del procedimiento, se calculan tanto el BI como el FLI, siendo ambos resultados que se esperan como salida del IPIG.

BI.Calcular_Indice_Quema()

Inicio

Sectores ← Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

NumEstacion ← 1

Clima ← Leer_Datos_BD(tDatos_Clima)

Para cada sector en Sectores hacer

Inicio

Subsectores ← Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

Para cada subsector en Subsectores hacer

Inicio

Modelos ← Leer_Datos_BD(tMod_Comb)

Para cada modelo en modelos hacer

Inicio

SC ← SC_IC.Leer_Datos()

ERC ← Calcular_ERC(Modelo)

FL ← Calcular_FL(SC, ERC)

BI ← Calcular_BI(FL)

FLI ← Calcular_FLI(BI)

Fin {Modelos}

NumEstacion++

Fin {Subsectores}

Fin {Sectores}

Fin {Algoritmo}

4.2.6.2.4.2.1. Calcular el componente de energía liberada (ERC)

Calcula el ERC de cada polígono de la zona forestal. Este atributo es utilizado posteriormente para calcular la longitud de flama.

BI.Calcular_ERC(Modelo)

Inicio

$K \leftarrow 0.04$

$TAOr \leftarrow 384 / \text{Modelo.Sigma}$

$ERC \leftarrow k * TAOr * \text{Modelo.Ire}$

Retornar (ERC)

Fin

4.2.6.2.4.2.2. Calcular la longitud de flama (FL)

Calcula la longitud de la flama correspondiente a un modelo de combustible, de acuerdo con las características ambientales de dicho modelo.

BI.Calcular_FL(SC, ERC)

Inicio

$J \leftarrow 0.45$

$a1 \leftarrow ((SC/60) * (25 * ERC))^{(0.46)}$

$FL \leftarrow j * a1$

Retornar (FL)

Fin

4.2.6.2.4.2.3. Calcular el índice de quema (BI)

Calcula el índice de quema de cada modelo de combustible localizado en el entorno a una estación virtual, y después ser asignado a los polígonos de la estación que cuenten con dicho modelo.

BI.Calcular_BI(FL)

Inicio

$j1 \leftarrow 10$

$BI \leftarrow j1 * FI$

Retornar(BI)

Fin

4.2.6.2.4.2.4. Calcular el índice de carga de incendio (FLI)

Calcula el índice carga de incendio de cada modelo de combustible localizado en el entorno a una estación virtual, y después ser asignado a los polígonos de la estación que cuenten con dicho modelo.

BI.Calcular_FLI(BI)

Inicio

$FLI \leftarrow (0.1088 * BI^2) - (2.669 * BI) + 40.846$

Retornar (FLI)

Fin

4.2.6.2.4.3. Calcular la humedad del combustible (MF)

Calcula la humedad de retardo del combustible de 1 hr, 10 hrs y 100 hrs. El proceso es el siguiente: se toman la temperatura y humedad de cada estación virtual, se modifican por el factor de nubosidad que les corresponde. Después se hace el cálculo del EMC, posteriormente se obtiene la humedad una hr, diez hrs y cien hrs, correspondiente a cada estación virtual.

Fuel_Moisture.Calcular_Mf()

Inicio

Estaciones $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

Para cada estacion en Estaciones hacer

Inicio

Nubosidad[estacion] $\leftarrow$ Leer_Datos()

Fin

Clima $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tDatos_Clima)

Clima2 $\leftarrow$ Aplicar_Nubosidad(Estaciones, Nubosidad, Clima)

EMC_Max $\leftarrow$ Calcular_EMC (Clima2.TempMax, Clima2.HrelMax, Estaciones)

EMC_Min $\leftarrow$ Calcular_EMC (Clima2.TempMin, Clima2.HrelMin, Estaciones)

EMC $\leftarrow$ Calcular_EMC (Clima2.Temp, Hrel.Temp, Estaciones)

Para cada estacion en Estaciones hacer

Inicio

Una_Hr[estacion] $\leftarrow$ Calcular_1Hr(estacion, EMC[estacion])

Diez_Hrs[estacion] $\leftarrow$ Calcular_10Hrs(estacion, EMC[estacion])

Cien_Hrs[estacion] $\leftarrow$ Calcular_100Hr(estacion, EMC_Max[estacion],
EMC_Min[estacion])

Fin

Grabar(Una_Hr, Diez_Hrs, Cien_Hrs, Estaciones)

Fin

4.2.6.2.4.3.1. Aplicar la nubosidad a los datos meteorológicos

Modifica por un factor de nubosidad tanto la temperatura como la humedad relativa, para el cálculo del EMC. Esta nubosidad corresponde a la cobertura de nubes que haya en el ambiente el día del cálculo de los índices de peligro de incendio. Los factores de nubosidad son cuatro, *limpio* (sin nubes), *medio nublado* (pocas nubes), *nublado* (muchas nubes), *cubierto* (nublado total).

Fuel_Moisture.Aplicar_Nubosidad(Estaciones, Nubosidad, Clima)

Inicio

Para cada estacion en Estaciones hacer

Inicio

Si (Nubosidad[estacion] = "Limpio") entonces

Inicio

Temp $\leftarrow$ Clima[estacion].Temp + 25

Clima2[estacion].Temp $\leftarrow$ Temp

Hum $\leftarrow$ Clima[estacion].HRel * 0.75

Clima2[estacion].HRel $\leftarrow$ Hum

Fin

Si (Nubosidad[estacion] = "Medio nublado") entonces

Inicio

Temp $\leftarrow$ Clima[estacion].Temp + 19

Clima2[estacion].Temp $\leftarrow$ Temp

Hum $\leftarrow$ Clima[estacion].HRel * 0.83

Clima2[estacion].HRel $\leftarrow$ Hum

Fin

Si (Nubosidad[estacion] = "Nublado") entonces

Inicio

Temp $\leftarrow$ Clima[estacion].Temp + 12

Clima2[estacion].Temp $\leftarrow$ Temp

Hum $\leftarrow$ Clima[estacion].HRel * 0.91

Clima2[estacion].HRel $\leftarrow$ Hum

Fin

Si (Nubosidad[estacion] = "Cubierto") entonces

Inicio

Temp $\leftarrow$ Clima[estacion].Temp + 5

Clima2[estacion].Temp $\leftarrow$ Temp

Hum $\leftarrow$ Clima[estacion].HRel * 1.0

Clima2[estacion].HRel $\leftarrow$ Hum

Fin

Fin

Retornar(Clima2)

Fin

4.2.6.2.4.3.2. Calcular el equilibrio de humedad contenida (EMC)

Calcula el equilibrio de humedad contenida de los combustibles; éste atributo es utilizado posteriormente para el cálculo de humedad de combustible de una hora, diez horas y cien horas.

Fuel_Moisture.Calcular_EMC(Temp, Hrel, estaciones)

Inicio

Para cada estacion en estaciones hacer

Inicio

$H \leftarrow Hrel[estacion]$

$T \leftarrow Temp[estacion]$

Si ($Hrel[estacion] = 10$) entonces

Inicio

$EMC[estacion] \leftarrow (0.03299) + (0.281073 * H) - (0.000578 * H * T)$

Fin

Si ($(Hrel[estacion] > 10)$ y ($Hrel[estacion] < 51$)) entonces

Inicio

$EMC[estacion] \leftarrow (2.22749) + (0.160107 * H) - (0.01478 * T)$

Fin

Si ($Hrel[estacion] \geq 51$) entonces

Inicio

$EMC[estacion] \leftarrow (21.0606) + (0.005565 * H^2) - (0.00035 * H * T) -$
 $(0.483199 * H)$

Fin

Fin

Retornar (EMC)

Fin

4.2.6.2.4.3.3. Calcular una hora de retardo de combustible (1Hr)

Con el algoritmo Calcular_1Hr, se obtiene el resultado del contenido de humedad del combustible de una hora, el procedimiento consiste en multiplicar el factor EMC por una constante correspondiente a la una hora de retardo.

Fuel_Moisture.Calcular_1Hr(Estacion, EMC)

Inicio

$Mf \leftarrow EMC * 1.03$

Retornar (Mf)

Fin

4.2.6.2.4.3.4. Calcular diez horas de retardo de combustible (10Hrs)

Obtiene el resultado del contenido de humedad del combustible de diez horas, el procedimiento es el siguiente, se multiplica el factor EMC por la constante correspondiente a las diez horas de retardo.

Fuel_Moisture.Calcular_10Hrs(Estacion, EMC)

Inicio

$Mf \leftarrow EMC * 1.28$

Retornar (Mf)

Fin

4.2.6.2.4.3.5. Calcular cien horas de retardo de combustible (100 Hrs)

Este algoritmo es utilizado para calcular el valor del contenido de humedad del combustible de cien horas, el procedimiento consiste en obtener el producto del factor EMC con la constante que corresponde a las cien horas de retardo.

Fuel_Moisture.Calcular_100Hrs(Estacion, EMC_Max, EMC_Min)

Inicio

$N \leftarrow \text{Leer_Datos}()$

$Pa \leftarrow \text{Leer_Datos}()$

$EMC24 \leftarrow ((n * EMC_Min) + ((24 - n) * EMC_Max))$

$Pd \leftarrow (Pa + 0.02) / 0.25$

$D \leftarrow (((24 - Pd) * EMC24) + ((0.5 * Pd) + 41) * Pd)) / 24$

$Cien_Hrs \leftarrow 30 + (D - 30) * (1 - 0.87 * \text{EXP}^{(-24/100)})$

Retornar (Cien_Hrs)

Fin

4.2.6.2.4.4. Calcular el índice de ocurrencia de incendio causado por el hombre (MCOI)

El algoritmo MCOI tiene la tarea de calcular el índice de peligro de incendio causado por el hombre, para cada subsector de la zona forestal de Baja California, para esto se lee de la base de datos la información histórica de cada subsector, ésta información corresponde a los cinco años anteriores al año en que se realice algún cálculo. Otro factor

que interviene en el cálculo de éste índice es el IC promedio actual de cada subsector, es decir, el IC promedio que se calcula en este grupo de algoritmos.

MCOI.Calcular_MCOI()

Inicio

Datos_Hist $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tDatos_Hist)

Sectores $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

Para cada sector en sectores hacer

Inicio

Subsectores $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tEstacion_V)

Para cada subsector en subsectores hacer

IC $\leftarrow$ SC_IC.Leer_Datos()

Rch $\leftarrow$ Calcular_RCH(Datos_Hist[subsector])

MCOI $\leftarrow$ IC * (Rch / 100)

Grabar(MOCI, subsector)

Fin

Fin

Fin

4.2.6.2.4.4.1. Calcular el riesgo causado por el hombre (Rch)

Con el siguiente algoritmo se obtiene el factor de riesgo causado por el hombre, este factor es utilizado para calcular el valor del MCOI. Este método recibe y procesa la información histórica correspondiente a cada subsector, logrando así el resultado del Rch, mismo que será utilizado posteriormente para el cálculo del MCOI.

MCOI.Calcular_Rch(Datos_Hist, Subsector)

Inicio

Incendios $\leftarrow$ Datos_Hist.Incendios

IC_Anteriores $\leftarrow$ Datos_Hist.IC_Anteriores

Dias $\leftarrow$ Datos_Hist.Dias

Area $\leftarrow$ Datos_Hist.Area

SumIncendios $\leftarrow$ 0

Para cada incendio en Datos_Hist.Incendios hacer

Inicio

SumIncendios $\leftarrow$ SumIncendios + Datos_Hist.Incendios[incendio]

Fin

ICMedia $\leftarrow$ 0

Para cada IC en Datos_Hist.ICAnteriores hacer

Inicio

ICMedia $\leftarrow$ ICMedia + Datos_Hist.ICAnteriores[IC]

Fin

$ICMedia \leftarrow ICMedia / Datos_Hist.ICAnteriores.Longitud$

$SumaDias \leftarrow 0$

Para cada Dia en Datos_Hist.Dias hacer

Inicio

$SumaDias \leftarrow SumaDias + Datos_Hist.Dias[Dia]$

Fin

$AreaDias \leftarrow Datos_Hist.Area * SumaDias$

$Rch \leftarrow (10 * SumIncendios) / (ICMedia * AreaDias)$

Retornar (Rch)

Fin

4.2.6.3. Despliegue de IPI

El subsistema **Despliegue de IPI** tiene la finalidad de presentar los resultados obtenidos; estos se muestran en las ventanas de la **Aplicación IPIG** a través de los métodos de la clase Despliegue_Ipi. Para que los índices de peligro de incendio, calculados por el subsistema **Cálculo de IPI**, puedan ser exhibidos: es necesario que sean extraídos de la base de datos y procesados para que se presenten de una manera agradable y fácil de entender por el usuario.

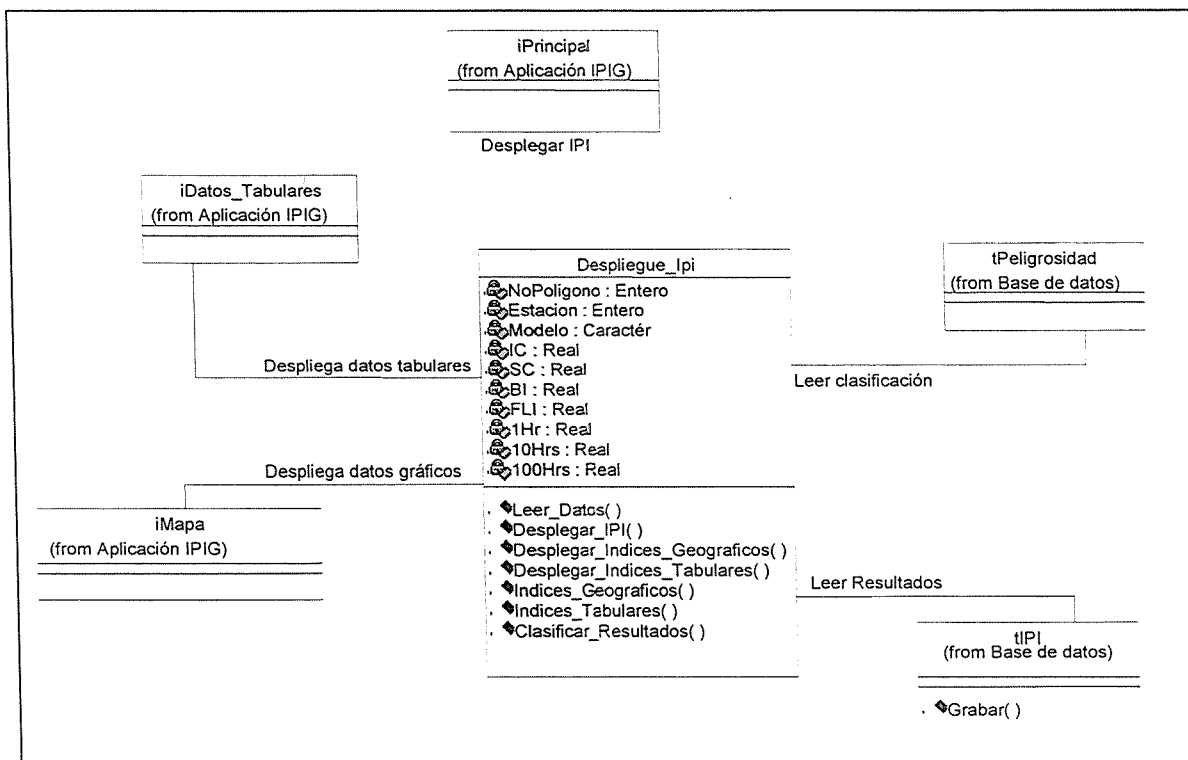


Figura 4.24. Diseño: Diagrama de clases del Despliegue de IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.3.1. Casos de Uso

4.2.6.3.1.1. Despliegue de índices de peligro de incendio

1. El usuario ordena al sistema que le presente los resultados almacenados, que fueron calculados previamente.
2. El sistema lee de la base de datos, la información necesaria para presentar tanto los datos geográficos como tabulares, de los resultados obtenidos.
3. El sistema realiza las operaciones necesarias para desplegar la información al usuario.
4. El sistema presenta los resultados obtenidos, tanto geográficos como tabulares.

4.2.6.3.2. Diagramas de escenarios del subsistema Despliegue de IPI

4.2.6.3.2.1. Despliegue de IPI

1. El usuario ordena al sistema, le presente los resultados almacenados, tanto geográficos como tabulares.
2. El sistema ordena a la clase Despliegue_Ipi, mostrar los resultados.
3. El sistema solicita a la base de datos los resultados obtenidos.
4. La base de datos proporciona la información solicitada.
5. El sistema solicita a la base de datos a información para clasificar los resultados geográficos.
6. La base de datos proporciona la información solicitada.
7. Se clasifican los resultados geográficos.
8. Se despliegan los resultados geográficos.
9. Se despliegan los resultados tabulares.

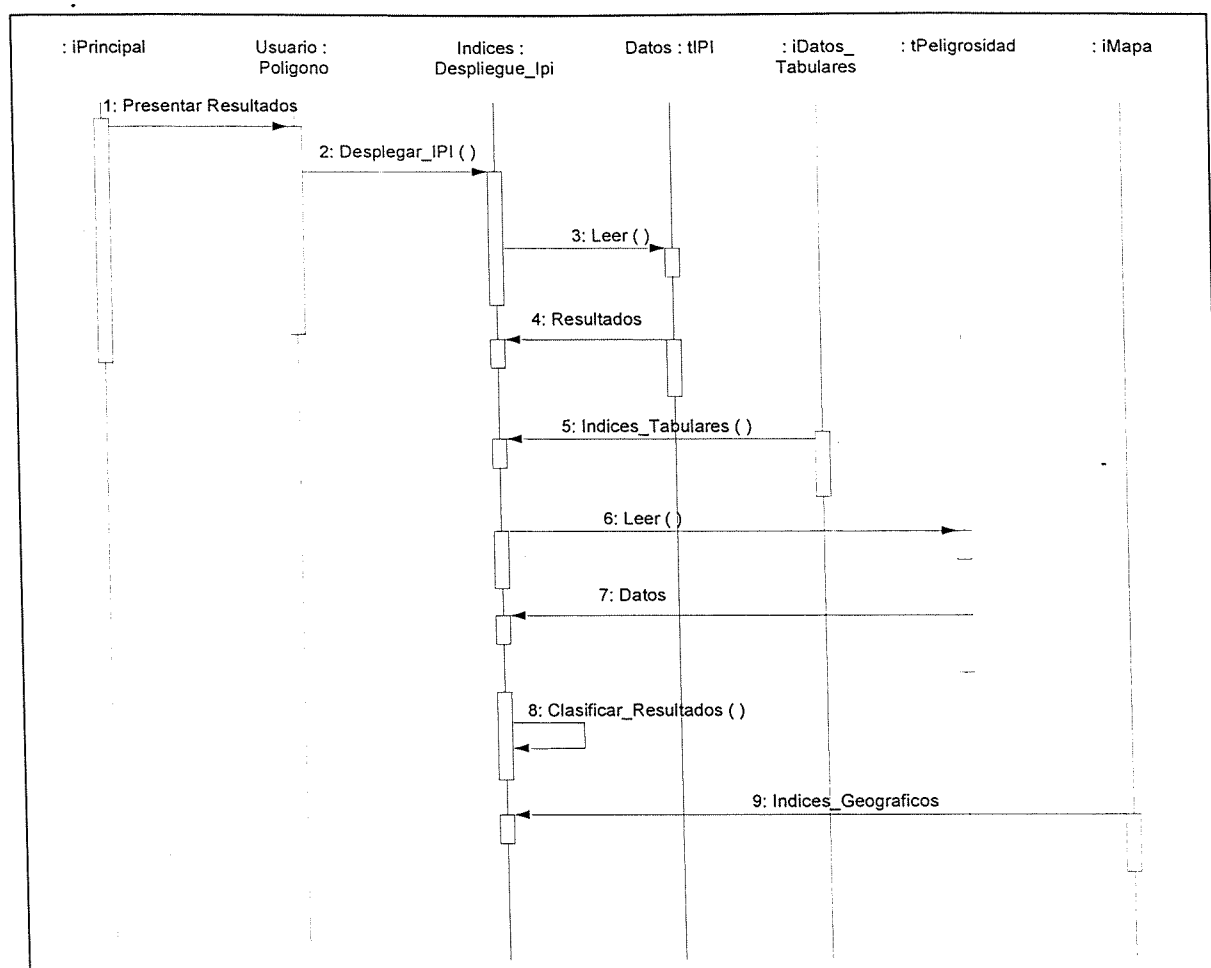


Figura 4.25. Diseño: Diagrama de escenarios para el despliegue de IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.3.2.2. Despliegue de datos geográficos

1. El usuario ordena al sistema el despliegue de datos geográficos.
2. El sistema lee de la base de datos los resultados para generar los índices geográficos.
3. La base de datos provee la información solicitada.
4. El sistema solicita a la base de datos a información para clasificar los resultados geográficos.
5. La base de datos proporciona la información solicitada.
6. Se clasifican los resultados geográficos.
7. El sistema despliega los índices de peligro de incendio de manera geográfica.

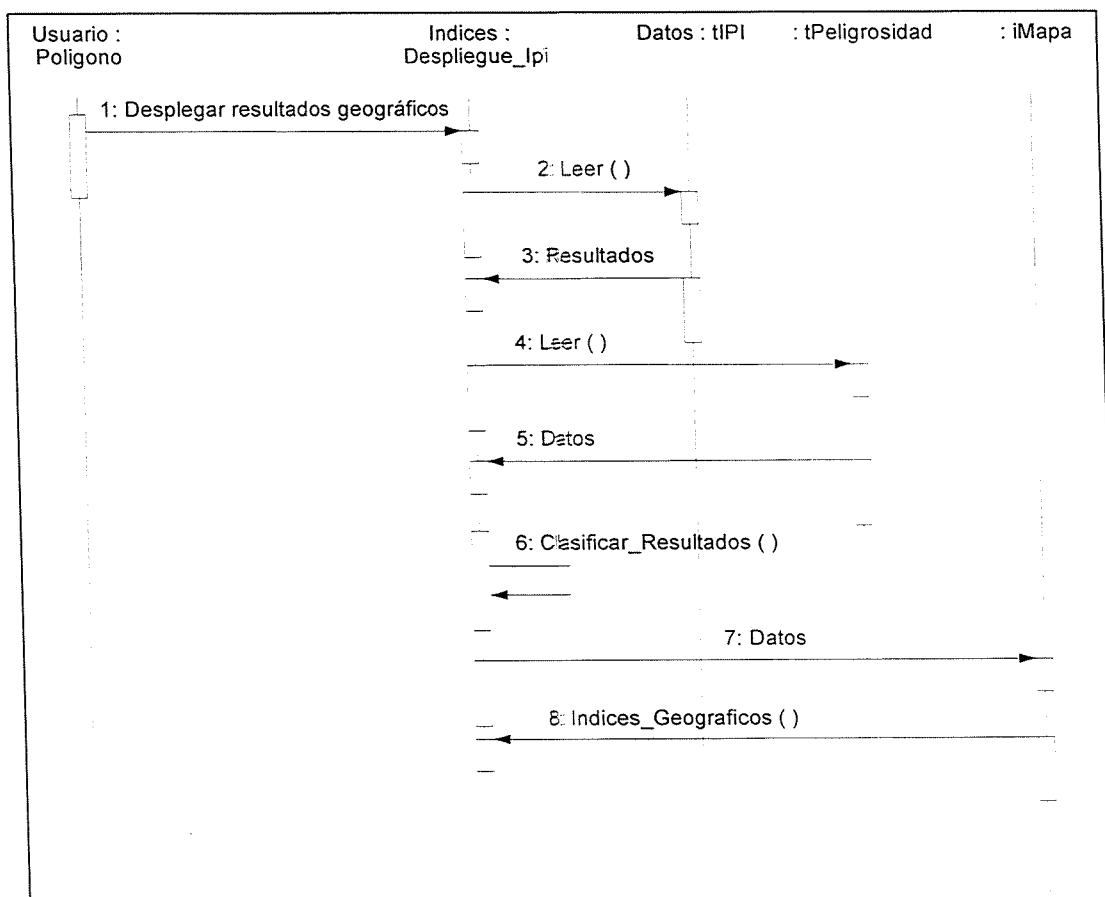


Figura 4.26. Diseño: Diagrama de escenarios para el despliegue geográfico de IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.3.2.3. Despliegue de datos tabulares

1. El usuario ordena al sistema el despliegue de datos tabulares.
2. El sistema lee de la base de datos los resultados para generar la información tabular.
3. La base de datos provee la información solicitada.
4. El sistema despliega los índices de peligro de incendio de manera tabular.

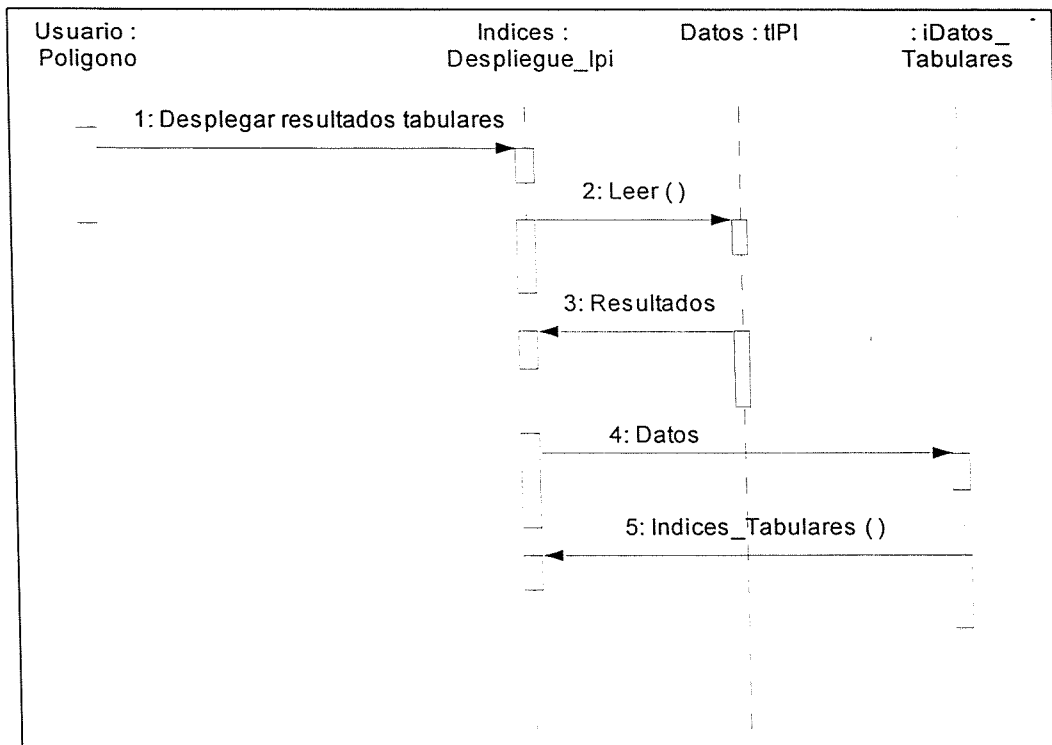


Figura 4.27. Diseño: Diagrama de escenarios para el despliegue tabular de IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.3.3. Diagramas de flujo de datos del subsistema Despliegue de IPI

El diagrama de la figura 4.28 presenta el flujo de datos del subsistema **Despliegue de IPI**. Esta figura muestra la función del subsistema de una manera general, las entradas, el proceso interno y las salidas. Las entradas consisten en la información que es leída de la base de datos (los índices de peligro). El proceso interno, consiste en las operaciones y ajustes para presentar al usuario los IPI, es decir, clasificación de resultados y presentar los resultados de manera tabular. Las salidas son los IPI clasificados por su nivel de peligrosidad, y la información tabular correspondiente a cada polígono de la zona forestal.

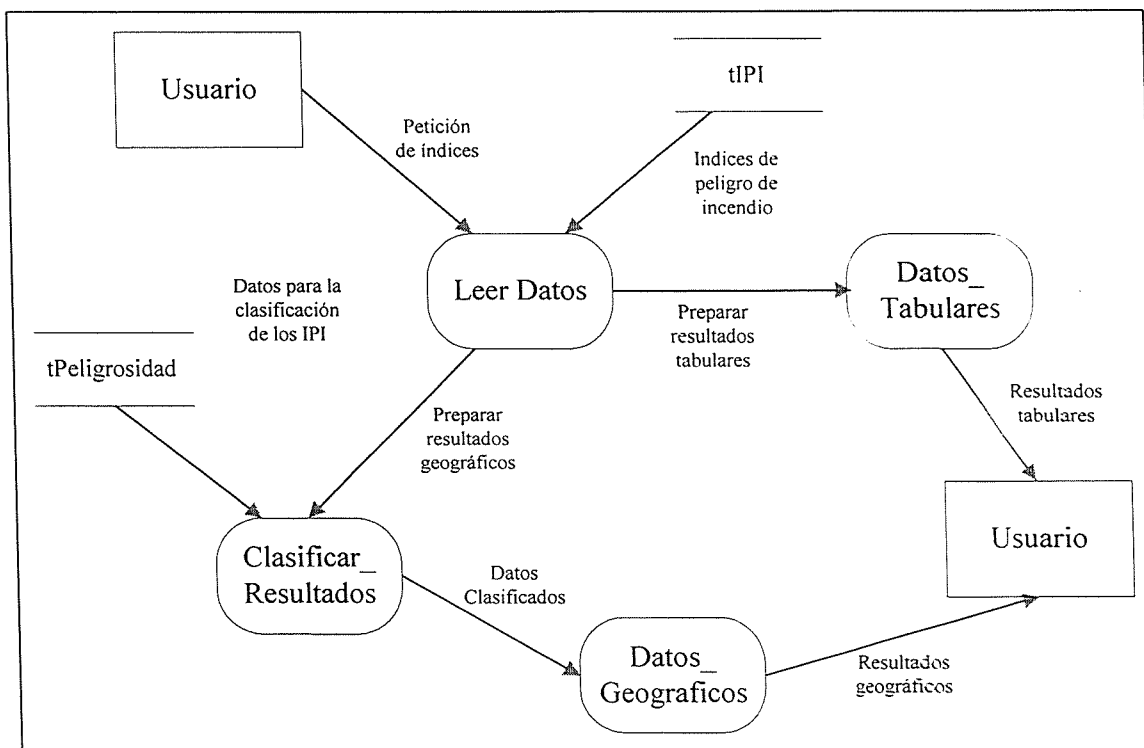


Figura 4.28. Diseño: Diagrama funcional del subsistema Despliegue de IPI del Sistema IPIG.

4.2.6.3.3.1. Despliegue de datos geográficos

La figura 4.29 muestra el diagrama funcional para el despliegue de los resultados geográficos. El proceso llevado a cabo es el siguiente: de la base de datos se leen los resultados calculados previamente para cada polígono, se extrae la información para clasificar dichos resultados; una vez obtenida esta información, se clasifican los resultados por el nivel de peligrosidad, y después se presentan los resultados al usuario.

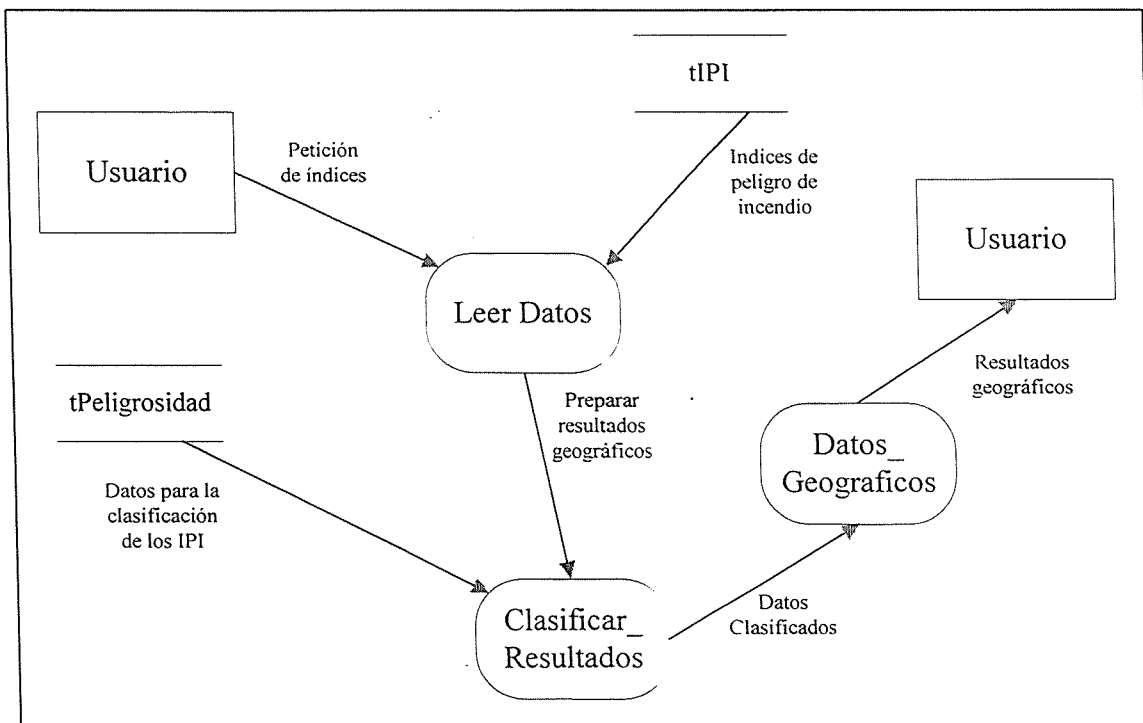


Figura 4.29. Diseño: Diagrama funcional para el despliegue de datos geográficos del Sistema IPIG.

4.2.6.3.3.2. Despliegue de datos tabulares

En la figura 4.30 se muestra el flujo de datos del despliegue de los resultados tabulares. El proceso se realiza de la siguiente manera: se leen los resultados calculados previamente para cada polígono de la base de datos, después de recuperar la información, se preparan los resultados de cada polígono de la zona forestal, para ser presentados de manera tabular al usuario.

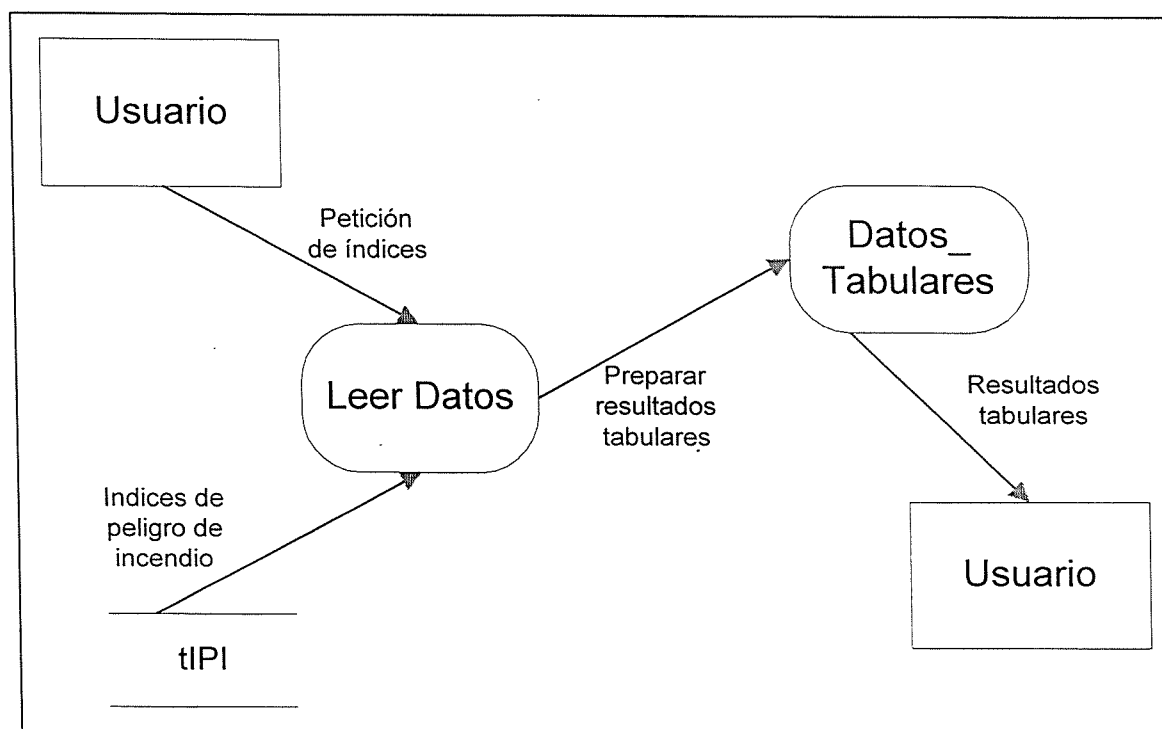


Figura 4.30. Diseño: Diagrama funcional para el despliegue de datos tabulares del Sistema IPIG.

4.2.6.3.4. Algoritmos del subsistema Despliegue de IPI

El objetivo del subsistema **Despliegue de IPI** es presentar los resultados del subsistema **Calculo de IPI** de una manera clara y amigable al usuario, para lograr esto se tiene que llevar a cabo una serie de operaciones que permitan manipular la información de una manera adecuada. Estas operaciones son descritas en los métodos propios de éste subsistema, los cuales se describen de manera algorítmica en esta sección.

El grupo de algoritmos descrito a continuación, representa solo la parte principal del subsistema, es decir, los métodos utilizados para los cálculos importantes, más no así para las operaciones de lectura y escritura, por ejemplo.

NOTA:

Estos algoritmos están descritos de manera general, ya que en la implementación se utilizarán las ventajas que ofrece al lenguaje Avenue de ArcView 3.0.

4.2.6.3.4.1. Desplegar los índices de peligro de incendio

Este algoritmo es utilizado para presentar los resultados, polígono a polígono, cuando el usuario solicita al sistema los IPI de manera tabular, o la clasificación geográfica del nivel de peligro de los índices.

Despliegue_Ipi.Desplegar_IPI()

Inicio

Ipi ← Leer_Datos_BD(tIpi)

Peligro ← Leer_Datos_BD(tPeligrosidad)

Indices_Tabulares(Ipi)

Clasificar_Resultados(Ipi, Peligro)

Indices_Graficos(Ipi)

Fin

4.2.6.3.4.1.1. Desplegar índices geográficos

Desplega solamente los resultados geográficos, este algoritmo opera cuando el usuario solo desea revisar los índices de peligro de incendio clasificados geográficamente.

Despliegue_Ipi. Desplegar_Indices_Graficos()

Inicio

Ipi ← Leer_Datos_BD(tIpi)

Peligro ← Leer_Datos_BD(tPeligrosidad)

Clasificar_Resultados(Ipi, Peligro)

Indices_Graficos(Ipi)

Fin

4.2.6.3.4.1.2. Desplegar índices tabulares

El algoritmo Desplegar_IndicesTabulares, tiene la tarea de presentar al usuario, cuando este lo solicite, los resultados del cálculo de los índices de peligro de incendio de manera tabular, para cada polígono de la zona forestal de Baja California.

Despliegue_Ipi. Desplegar_Indices_Tabulares()

Inicio

Ipi $\leftarrow$ Leer_Datos_BD(tIpi)

Indices_Tabulares(Ipi)

Fin

4.2.6.4. Base de Datos

El propósito de este subsistema, es proveer el manejo de almacenamiento de datos, así como proporcionar las funciones de consulta de información. De la misma forma es el responsable de mantener la integridad y consistencia de la información.

Para este subsistema no se harán las descripciones de los Modelos Dinámico y Funcional, de esta manera solo quedará la estructura estática de lo que es el subsistema de **Base de Datos**.

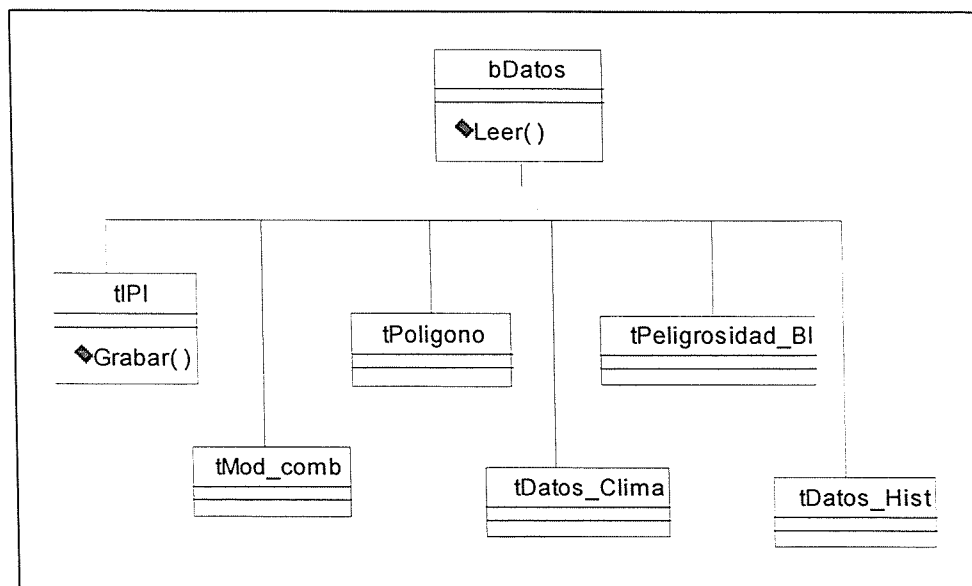


Figura 4.31. Diseño: Diagrama de clases de la Base de Datos del Sistema IPIG.

4.2.7. Estructura de la base de datos

Las siguientes tablas forman la estructura de la base de datos del sistema IPIG, las cuales serán utilizadas para consultar y almacenar la información del mismo. Estas tablas contienen campo, tipo y longitud del dato, además de ser descritas brevemente y definir sus llaves, primaria y foráneas, estas últimas si son necesarias.

4.2.7.1. Modelo de combustible

Esta es una tabla estática de lectura, contiene información de los modelos de combustibles, misma que es consultada para el cálculo del índice de quema.

Llave primaria: **Tipo_Mod.**

tMod Comb			
Campo	Tipo	Longitud	Descripción
Tipo_Mod	Caracter	2	Tipo de modelo de combustible.
St	Real	12	Contenido total de mineral.
Se	Real	12	Contenido efectivo de mineral.
H	Real	12	Calor contenido.
Scmax	Real	12	Máxima propagación probable.
Delta	Real	12	Capa de combustible.
Mx	Real	12	Deceso de humedad.
Sigma	Real	12	Volumen de combustible (1Hr, 10Hrs, 100Hrs).
Rhop	Real	12	Densidad del combustible.
Wo	Real	12	Masa total del combustible.
Ire	Real	8	Intensidad de reacción ponderada.
Pendiente	Real	2	Elevación del terreno.
FactorV	Real	12	Factor de viento.

Tabla 4.1. Modelos de combustibles.

4.2.7.2. Estación virtual

La tabla tEstación_V, contiene los datos de ubicación y correspondencia de la estación virtual con respecto al mapa utilizado por el sistema. Esta es solo de lectura.

Llave primaria: **Num_Estacion**.

tEstacion_V			
Campo	Tipo	Longitud	Descripción
Num_Estacion	Entero	2	Número de estación virtual.
Nombre	Caracter	40	Nombre de estación virtual.
Sector	Entero	2	Sector a la que pertenece la estación.
Subsector	Entero	2	Subsector a la que pertenece la estación.

Tabla 4.2. Estación Virtual.

4.2.7.3. Indices de peligro de incendio

En la tabla tIPI se graban los resultados obtenidos que serán presentados al usuario, por lo tanto esta tabla es de lectura y escritura.

Llave primaria: (**No_Poligono, Tipo_Mod, Fecha**).

tIPI			
Campo	Tipo	Longitud	Descripción
Fecha	Fecha	16	Fecha de los datos meteorológicos.
No_Poligono	Entero	4	Número de polígono.
Tipo_Mod	Caracter	2	Tipo de modelo de combustible del polígono.
BI	Real	12	Indice de quema.
IC	Real	12	Componente de ignición.
SC	Real	12	Componente de propagación.
Una_Hr	Real	12	Retardo de humedad de una hora.
Diez_Hrs	Real	12	Retardo de humedad de diez horas.
Cien_Hrs	Real	12	Retardo de humedad de cien horas.
FLI	Real	12	Indice de carga total.

Tabla 4.3. Indices de Peligro de Incendio.

4.2.7.4. Datos meteorológicos necesarios.

Esta tabla, contiene información meteorológica necesaria para iniciar los cálculos de los índices de peligro de incendio, esta tabla es alimentada por el SADAM, por lo que en este sistema es utilizada solo para lectura.

Llave primaria: (**Num_Estacion, Fecha**).

Datos Clima			
Campo	Tipo	Longitud	Descripción
Num_Estacion	Entero	2	Número de estación virtual.
Fecha	Fecha	16	Fecha de los datos meteorológicos.
Temp_Min	Real	8	Temperatura mínima.
Temp_Max	Real	8	Temperatura máxima.
Temp_Med	Real	8	Temperatura media.
Hrel_Med	Real	8	Humedad relativa media.
Vel_viento	Real	8	Velocidad del viento.
HCV	Real	8	Factor de humedad de los combustibles vivos.
Dewpoint	Real	8	Factor de humedad relativa.
Lluvia	Real	8	Cantidad de lluvia.

Tabla 4.4. Datos Meteorológicos.

4.2.7.5. Datos históricos de incendios causados por el hombre

Tabla de solo lectura por el sistema que contiene datos históricos de incendios causados por el hombre en años anteriores, tales como el número de incendios ocurridos cada año por esta causa, el área en acres quemada, el número de días en que hubo incendios y el promedio del componente de ignición para cada año, mismos que son necesarios para calcular el riesgo que pueda causar el hombre en un posible incendio.

Llave Primaria: **Anio**.

tDatos_Hist			
Campo	Tipo	Longitud	Descripción
Anio	Entero	4	Año al que corresponde la información.
Num_Incendios	Entero	100	Numero de incendios en el año.
IC_Promedio	Real	100	Componente de ignición promedio en el año.
Num_Dias	Entero	100	Cantidad de días en los que hubo incendio.
Area	Real	12	Superficie quemada en el año.

Tabla 4.5. Datos Históricos de Incendios Forestales.

4.2.7.6. Descripción de la peligrosidad del índice de quema.

En la tabla tPeligrosidad_BI, hay información descriptiva, que nos sirve para saber cual sería el nivel de peligrosidad de un posible incendio, así como también contiene información de la manera en como atacar dicho siniestro.

Llave Primaria: **Long_Flama.**

tPeligrosidad BI			
Campo	Tipo	Longitud	Descripción
Nivel	Entero	2	Nivel de peligrosidad de los índices.
Descripcion	Cadena	100	Descripción de peligrosidad.
Long_Flama	Real	12	Intervalo en que puede estar el valor del índice.
Coloracion	Entero	2	Color asignado al nivel de peligro.

Tabla 4.6. Peligrosidad del Índice de Quema.

4.2.7.7. Polígonos de la zona forestal.

En esta tabla se concentra información correspondiente a cada polígono ubicado en la zona forestal del Estado de Baja California, la cual es utilizada para obtener los índices de peligro de incendio. Esta tabla es solo de lectura

Llave Primaria: **No_Poligono.**

Polígono			
Campo	Tipo	Longitud	Descripción
No_Poligono	Entero	4	Número de polígono.
Sector	Entero	2	Sector al que pertenece el polígono.
Subsector	Entero	2	Subsector al que pertenece el polígono.
Num_Estacion	Entero	2	Número de estación asignada.
Tipo_Mod	Carácter	2	Tipo de modelo de combustible del polígono.

Tabla 4.7. Polígonos de la Zona Forestal.

4.2.8. Concurrencia inherente

Basados en los diagramas dinámicos, se puede obtener, si es que existe, la concurrencia que se presenta de manera inherente en el sistema, [RUMBAUGH, 1991]. De esta forma se tiene en cuenta que en el sistema IPIG no hay concurrencia, debido a que no contamos con tareas que puedan ser realizadas de manera simultánea, ya que para poder ver los resultados, tanto geográficos como tabulares, siempre es necesario que sean calculados previamente.

4.2.9. Estimación de requerimientos de recursos del sistema

4.2.9.1. Hardware

- Computadora compatible con IBM PC.
- Procesador Intel Pentium II 350 MHz o superior.
- 512 KB de memoria cache secundaria o superior.
- 32 MB de memoria o superior.
- Unidad de discos flexibles de 3.5".
- Disco duro de 2 G.B. o más.

- Tarjeta de vídeo con 2 MB de memoria o superior.
- Monitor SVGA de 15" o más.
- Ratón Microsoft o compatible, con conexión tipo serie.

4.2.9.2. Software

- Sistema operativo Windows 95.
- ArcView versión 3.0.
- Avenue versión 3.0.

4.2.10. Método de control de software

Debido a las características del sistema, de proporcionar al usuario la posibilidad de que él decida la operación que desee realizar, el método de control de software que se utilizará será de **control externo**, específicamente **manejo por eventos**. El control externo es el flujo de eventos, externamente visibles, entre los objetos en el sistema.

Como una breve descripción de este método, podemos decir, que el control en un sistema manejado por eventos reside en el monitor de eventos que provee el lenguaje. Los objetos se encuentran ligados a los eventos y son llamados por el despachador cuando el evento correspondiente ocurre. El despachador envía el llamado al objeto pero no se queda esperando a que se termine su ejecución. Todos los procedimientos retornan el control al despachador. Los eventos son manejados directamente por el despachador. Esto permite patrones más flexibles de control que en los sistemas de manejo por

procedimientos. El mapeo de los eventos a los objetos es más simple y poderoso que en otros tipos de control y presentan mayor modularidad en el diseño y mejor manejo de condiciones de error [RUMBAUGH, 1991].

4.2.11. Decisiones de Diseño

Uno de los problemas que surgen al momento de dividir el diseño del sistema en módulos o subsistemas es identificar la relación que existirá entre los subsistemas resultantes. Esta decisión es de suma importancia para el desarrollo de cualquier sistema, ya que un “gran problema” se divide en “pequeños problemas”, de esta manera resulta mucho más fácil resolver varios “pequeños problemas”, que un “gran problema”, pero para algunos desarrolladores a veces resulta complicado de entender, por tal motivo para dar una idea más clara, se incluye dentro del diseño una parte que describe una relación entre subsistemas como una relación cliente-servidor.

Durante la elaboración del diseño se analizaron las fases que anteceden a esta etapa, análisis y especificación de requerimientos, tomándose como base, pero al momento de portar los modelos al diseño del sistema se realizó una modificación para aumentar efectividad, eliminar redundancia y optimizar recursos. El siguiente punto describe la modificación realizada:

- Al inicio del desarrollo del sistema, se definió como requerimiento que los resultados (índices de peligro de incendio) generados por la **aplicación IPIG**

fueran grabados en la base de datos, pero debido a la gran cantidad de información generada diariamente, 930 registros de 10 columnas por día, se propone no grabar los resultados, ya que si los índices de peligro de incendio se calculan diariamente, en un año se tendrían 339450 registros, lo cual afectaría el rendimiento de la base de datos. Por lo tanto, la propuesta consiste en grabar en la base de datos, solo la información meteorológica procesada diariamente por el SADAM (14 registros de nueve columnas), de esta manera, teniendo almacenada esta información además de los atributos de los modelos de combustible, se pueden generar los IPI para una fecha específica, en el momento en el que el usuario lo requiera, siempre y cuando haya en la base de datos información meteorológica correspondiente a esta fecha.

- Otra modificación llevada a cabo, durante el desarrollo del sistema, con respecto a los planes iniciales, es acerca de la forma en como se captura la nubosidad, esto se debe a la siguiente razón: en un principio se había planteado que la nubosidad fuera capturada al igual que los demás parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa, etc), pero dado que la imagen que contiene esta información es muy compleja, el SADAM no puede interpretarla, por tal motivo se toma la decisión de que el usuario interprete la nubosidad representada en la imagen obtenida de *Internet* e introduzca al sistema el tipo de nubosidad correspondiente a cada estación virtual.

4.3. Implementación

4.3.1. Introducción

Esta sección menciona las características del Avenue, lenguaje utilizado para la implementación, describe las ventajas y desventajas de éste, así como también explica algunas de las funciones y clases claves del lenguaje para que la implementación se realizara de forma aceptable.

Se mencionan también los cambios que se tuvieron que efectuar al diseño de acuerdo a las características del Avenue, así algunos “artificios” de implementación.

Otro de los puntos tratados en esta parte, es el esquema de operación del sistema, es decir, todos los factores que intervienen, tanto para la entrada y salida de datos, como para el buen desempeño de este.

4.3.2. Lenguaje

Avenue es un lenguaje de programación orientado a objetos, que trabaja por medio de *scripts*, nativo de ArcView, con el cual se hacen peticiones a objetos y clases, incluyendo enunciados condicionales, ciclos, enunciados de control de flujo, así como un conjunto completo de funciones que permiten una manipulación fácil y efectiva de estos objetos, [AVENUE, 1996]. Las características del lenguaje son las siguientes:

- Avenue es un lenguaje orientado a objetos que trabaja por medio de *scripts*.
- Avenue no distingue entre minúsculas y mayúsculas.
- Avenue es un lenguaje compilado.
- En Avenue cada línea de código debe ser escrita en un solo renglón (excepto cuando hay una cadena de caracteres, en dos o más renglones, entre comillas).
- Avenue no es recursivo.
- En este lenguaje no se pueden crear clases propias o modificar las clases existentes.
- No se pueden ejecutar los *scripts* fuera del contexto de ArcView.
- Conexión a un servidor de base de datos por medio de ODBC.

Este lenguaje es utilizado tanto para personalizar el ambiente de ArcView, como para desarrollo de aplicaciones. Con Avenue se puede hacer lo siguiente:

- Personalizar el ambiente ArcView.
- Modificar las herramientas estándar de ArcView.
- Crear nuevas herramientas.
- Integrar el ArcView con otras aplicaciones.
- Desarrollar aplicaciones que funcionen dentro del ambiente ArcView.

Las aplicaciones construidas con Avenue para el Ambiente ArcView pueden trabajar en varias plataformas, en Windows de Microsoft, en Macintosh de Apple, y en diferentes sistemas operativos UNIX, ya que las características de Avenue son prácticamente las

mismas. En muy pocos casos en que hay diferencias, el lenguaje provee instrucciones específicas para el sistema operativo en cuestión.

4.3.3. Características de la implementación

El seleccionar un lenguaje de implementación, para el desarrollo de un sistema, no es una decisión sencilla ya que intervienen varios factores, por ejemplo bajo que plataforma debe correr el sistema, que funciones debe desempeñar el sistema, cuales son los requerimientos que cumplirá el sistema, entre otros no menos importantes. Pero sin duda alguna uno de los aspectos que debe cumplir el lenguaje de programación, es que este provea la solución más sencilla o adecuada para la implementación del sistema.

La decisión de implementar el sistema IPIG, con el lenguaje Avenue, nativo de ArcView, se debe principalmente a la integración de este con los Sistemas de Información Geográfica, además de proveer la capacidad de manejar un mapa digitalizado o cobertura (theme) como cualquier objeto dentro de la implementación del sistema. Esto permite manipular el mapa de la zona forestal de Baja California (o cualquier otro mapa digitalizado) de manera relativamente sencilla, de esta manera es posible hacer la clasificación de resultados más fácil, rápido y eficiente, debido a las clases y métodos con las que cuenta el Avenue para estas manipulaciones. En caso contrario, si el sistema es implementado con otro lenguaje, esto hubiera complicado el uso de mapas digitalizados, ya que es muy probable no haber podido utilizar mapas georeferenciados,

además de que la clasificación de resultados implicaría un gran esfuerzo de programación, mismo que es evitado gracias a las características del Avenue.

Sin embargo, un lenguaje de programación no siempre resuelve todos los problemas que se pueden presentar en la implementación del sistema, pero sí es responsabilidad del programador elegir una herramienta de programación que resuelva la parte (o las partes) más complicada del sistema a implementar, aunque esto implique que se tengan que sacrificar otros aspectos de la programación.

Generalmente al llevar a cabo la implementación de un sistema, se desea que el modelo construido en las etapas de análisis y diseño, pueda ser implantado tal cual, sin menores problemas, pero esto en algunos casos no es tan sencillo, debido a que hay ocasiones en que la herramienta de programación tiene ciertas limitantes, o no es la más adecuada para hacer la implementación, pero sin embargo es la única herramienta con la que se cuenta o es una condición establecida en los requerimientos que debe cumplir el sistema. Cuando se llega a presentar esta situación, es muy probable que surjan una serie de inconveniencias que compliquen la implementación del sistema, obligando así, a que el sistema sea implantado de manera diferente a como se tenía contemplado.

Durante el proceso de implementación del IPIG, tuvieron lugar una serie de circunstancias no previstas en el diseño, es decir, se tuvo que adaptar el diseño al lenguaje de programación Avenue. Esto se debió principalmente a dos de las características del Avenue:

- Incapacidad de crear clases propias durante la implementación de un sistema (esto no quiere decir que el lenguaje no sea orientado a objetos, ya que si trabaja con objetos, la que pasa es que no permite que el programador defina sus propias clases).
- El pobre manejo de bases de datos (el ArcView se puede conectar a un servidor de base de datos a través de ODBC, pero con las funciones disponibles solo se puede hacer consultas).
- Otro de los problemas presentados fue el paso de parámetros, Avenue solo permite pasar un parámetro al momento de llamar a un script.

La inconveniencia de no poder crear las clases definidas durante las etapas de análisis y diseño complicó de manera sustancial la implementación del sistema, ya que se tuvo que plantear una solución alterna a esta situación. La decisión tomada consistió en hacer una programación secuencial utilizando las clases y objetos del Avenue que permitieran un desarrollo más sencillo, además de hacer uso de variables globales para poder utilizar el contenido de estas variables en los módulos que así lo requirieran.

En lo que se refiere al manejo de bases de datos, el problema consiste en que con ArcView/Avenue solo se pueden hacer consultas sencillas, además de que la consulta tiene ser escrita como una cadena (*string*) encerrada entre comillas dobles (“ ”), por ejemplo, si el programador decide hacer un consulta la cual tenga una condición y que la condición sea un carácter, esta no puede ser llevada a cabo, la explicación a esta circunstancia se debe a que en la mayoría de los manejadores para referirse a un

"caracter" (o a una cadena de caracteres) es necesario que esté encerrado entre comillas sencillas ('), y el problema es que estas comillas son utilizadas para comentar un script de Avenue, entonces cuando se hacía la siguiente consulta,

```
"SELECT * FROM TMOD_COM WHERE TIPO_MOD='A'"
```

el enunciado quedaba incompleto, ya que de la primer comilla en adelante el compilador supone que hay comentarios. Para dar solución a este problema fue necesario hacer el siguiente "artificio":

```
"SELECT * FROM TMOD_COM WHERE TIPO_MOD="'"+"'"+"A"+"'"
```

tomar el enunciado hasta el "=", concatenar el caracter "'" , concatenar la "A", y concatenar nuevamente el caracter "'", de esta manera se puede hacer la consulta. Pero este problema se agrava cuando el enunciado es más complicado, ya que entonces es necesario usar variables. Este problema también se presenta, pero con mayor gravedad, si se desea hacer una inserción (*INSERT*) o una actualización (*UPDATE*).

Finalmente, el caso del paso de parámetros restringido, vino a complicar aún más el problema presentado con la imposibilidad de definir clases, puesto que era necesario transmitir diferentes datos de un script a otro, y con esta restricción no era posible. La solución a este detalle fue sencilla, ya que dentro de un script es posible definir una lista de objetos (un objeto del tipo List, el cual puede contener diferentes objetos, en cada índice del arreglo, como por ejemplo, enteros, Vistas, Tablas, incluso otra lista), de esta manera en la lista de objetos definida se instancian los objetos y esta lista es pasada como parámetro a otro script, resolviendo así el problema de paso de parámetros.

4.3.4. Esquema de operación global para el cálculo de IPI

Como ya se ha visto, el IPIG es parte de un sistema de información geográfica, el cual esta compuesto de otras aplicaciones además del sistema de Indices de Peligro de Incendio Geográficos. Para que el IPIG pueda determinar los índices de peligro de incendio, es necesario que previamente se lleven a cabo una serie de procesos, el propósito de estos procesos es obtener la información meteorológica de la zona forestal de Baja California. En la figura 4.32 se muestra el esquema de operación previo al cálculo de los IPI.

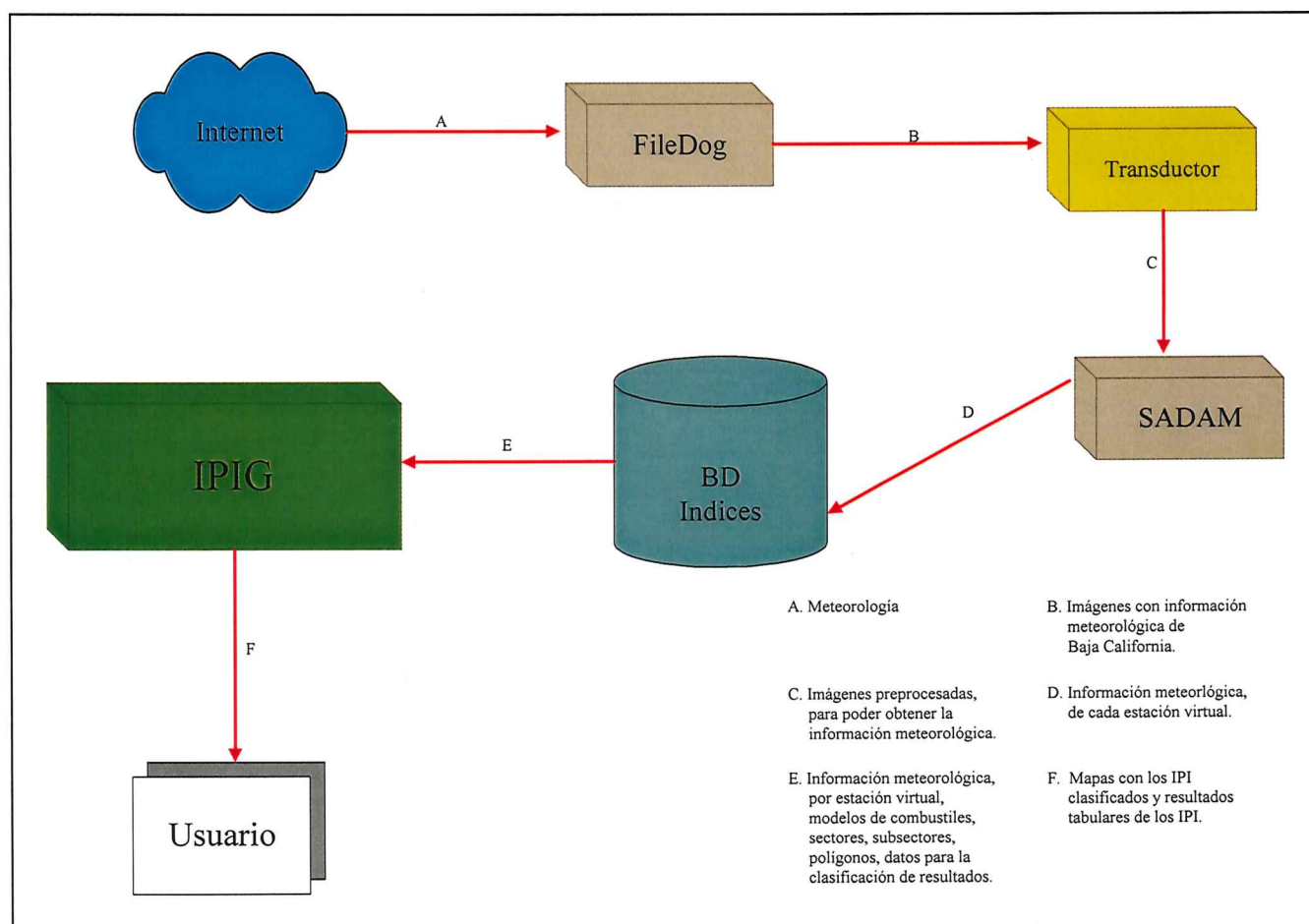


Figura 4.32. implementación: Esquema de operación global para el cálculo de IPI del Sistema IPIG.

Este esquema de operación, muestra la relación del IPIG con otros sistemas, así como el orden y flujo de información de los procesos que son realizados con estos sistemas, para que el IPIG pueda realizar su función.

Una descripción un poco más amplia es la siguiente, primero es necesario obtener de un sitio de información meteorológica en Internet una serie de imágenes que contienen información meteorológica de la zona forestal de Baja California, esto se hace de manera automática mediante la aplicación FileDog , la cual es una herramienta de FTP automático, que permite calendarizar eventos la con frecuencia deseada, es decir, se puede obtener un archivo o grupo de archivos, cada hora, cada día, cada semana, etcétera. Después de almacenar las imágenes obtenidas de *Internet*, pasan por un transductor que las modifica al formato BMP, para que puedan ser leídas por el SADAM.

Ya que se tienen las imágenes con información meteorológica, en el formato requerido, el siguiente paso es procesar dichas imágenes a través del SADAM, para extraer la información meteorológica de cada estación virtual, y depositarla en la base de datos, de donde será consultada por el IPIG. Posteriormente, cuando el usuario desea calcular los índices de peligro de incendio, el IPIG extrae de la base de datos la información meteorológica de cada estación virtual, además de los atributos de cada modelo de combustible, así como la información requerida para la clasificación de los IPI. Finalmente son presentados los resultados, al usuario, de manera geográfica (mapas clasificados) y tabular (una tabla con los resultados por cada polígono de la zona forestal).

5. RESULTADOS

5.2. Introducción

Al inicio de la tesis se planteó un objetivo general, así como una serie de objetivos específicos. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tesis, así como los resultados que arroja el sistema IPIG.

En cuanto a los objetivos que debería cumplir la tesis, se puede decir que fueron cubiertos satisfactoriamente, tanto el general como los específicos, ya que el sistema IPIG fue modelado completamente bajo la metodología OMT, e implementado con un lenguaje orientado a objetos.

En lo que respecta a los resultados que genera el IPIG, también se puede decir que cumplen con las expectativas, ya que estos tienen una exactitud del 85 % (porcentaje asignado por los expertos de INIFAP), lo cual es bastante aceptable.

Los resultados que genera el sistema son los siguientes:

- Índices de peligro de incendio de cada polígono de la zona forestal, presentados de manera tabular.
- Tres mapas clasificados por su nivel de peligrosidad, estos mapas corresponden al IC (Ignition component, por sus siglas en inglés), SC (Spread component, por sus siglas en inglés) y BI (Burn Index, por sus siglas en inglés), Componente de Ignición, Componente de Propagación e Índice de Carga de Incendio,

respectivamente. Estos mapas están divididos en sectores, estos se dividen en subsectores, mismos que a su vez están divididos en polígonos, donde a cada polígono le corresponde un IC, SC, y BI.

5.2. Resultados del cálculo de IPI

En el cálculo de los índices de peligro de incendio intervienen dos factores importantes, modelos de combustibles y condiciones ambientales. Los modelos de combustibles tienen las características de cada uno de los tipos de vegetación de la zona forestal. Indican cuales de estos son más sensibles al calor y cuales contienen más energía, es decir, los pastizales por ejemplo son más sensibles al calor, pero liberan poca energía y se consumen rápido, mientras que los pinos son más lentos en hacer combustión pero tienen un gran contenido de energía. En cuanto a las condiciones ambientales, estas determinan en gran medida una posible ocurrencia de incendio, ya que si los modelos de combustibles de una zona determinada están muy secos y en un día X hay poca humedad y temperaturas elevadas además de un cielo despejado, entonces hay una probabilidad muy alta de incendio; por el contrario si la humedad es alta, el cielo esta cubierto y las temperaturas son medias, no hay riesgo alguno en que se pueda presentar un siniestro.

A continuación se presentan dos casos en el cálculo de índices de peligro de incendio, primero cuando los resultados tienen un nivel de peligro bajo y el otro cuando estos resultados tienen un nivel alto de peligro.

En estos dos ejemplos se muestran los resultados a través de una serie de figuras. Donde se presentan los mapas clasificados por su nivel de peligrosidad, así como la información de cada polígono (número polígono, estación virtual, índices de peligro de incendio, etc) de la zona forestal de manera tabular.

5.2.1. Caso 1. Resultados con nivel de peligro bajo

Para este ejemplo se utilizarán condiciones ambientales con temperaturas bajas y humedad media, además de un cielo despejado. Estas condiciones meteorológicas son del 2 de julio de 1999.

La figura 5.1 Muestra el resultado y clasificación del IC para cada polígono de la zona forestal de Baja California. En esta figura se puede ver que el componente de ignición es bajo en toda la zona forestal, en la zona norte el IC se encuentra entre 0-9, mientras que en la parte sur del Estado, el IC varia entre 10-24.

En el caso del componente de propagación se puede ver, que el resultado también es bajo, ya que la clasificación de polígonos, para el SC en su mayoría es entre 0-9, solo 117 de 941 polígonos tienen un SC entre 10-19. Esta clasificación se puede ver en la figura 5.2.

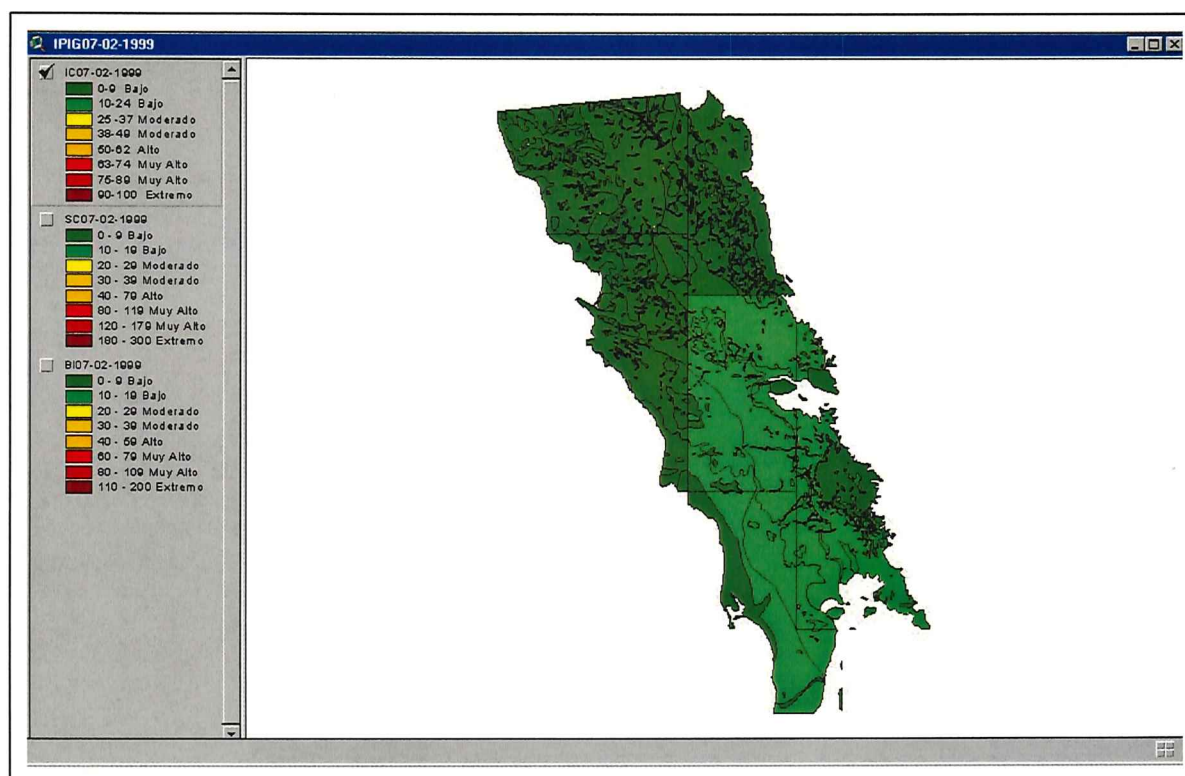


Figura 5.1. Resultados: Componente de Ignición del 2 de julio 1999 del Sistema IPIG.

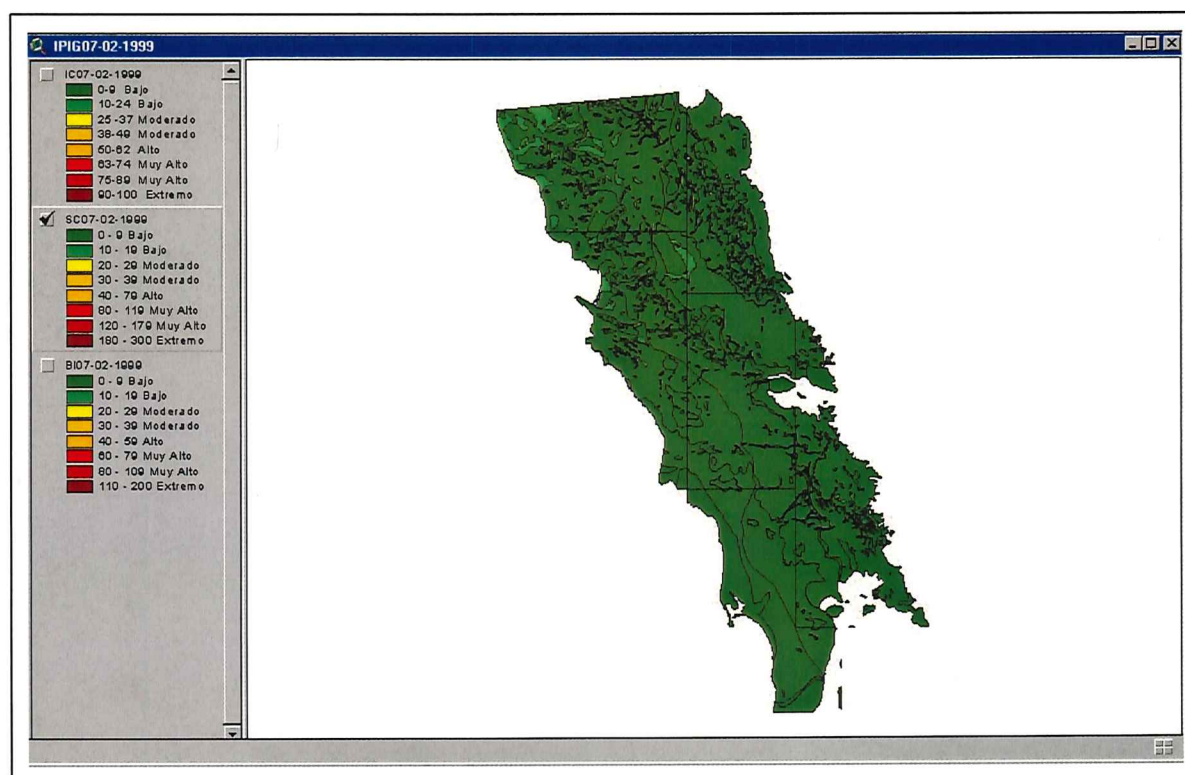


Figura 5.2. Resultados: Componente de propagación del 2 de julio 1999 del Sistema IPIG.

El resultado del BI se muestra en la figura 5.3 en esta gráfica se puede ver el mapa base de la zona forestal con una clasificación baja, ya que el índice de quema se encuentra entre 0-9 en la mayoría de los polígonos, mientras que solo 265 de 941 polígonos tienen un IC entre 10-19, el cual es también un IC bajo.

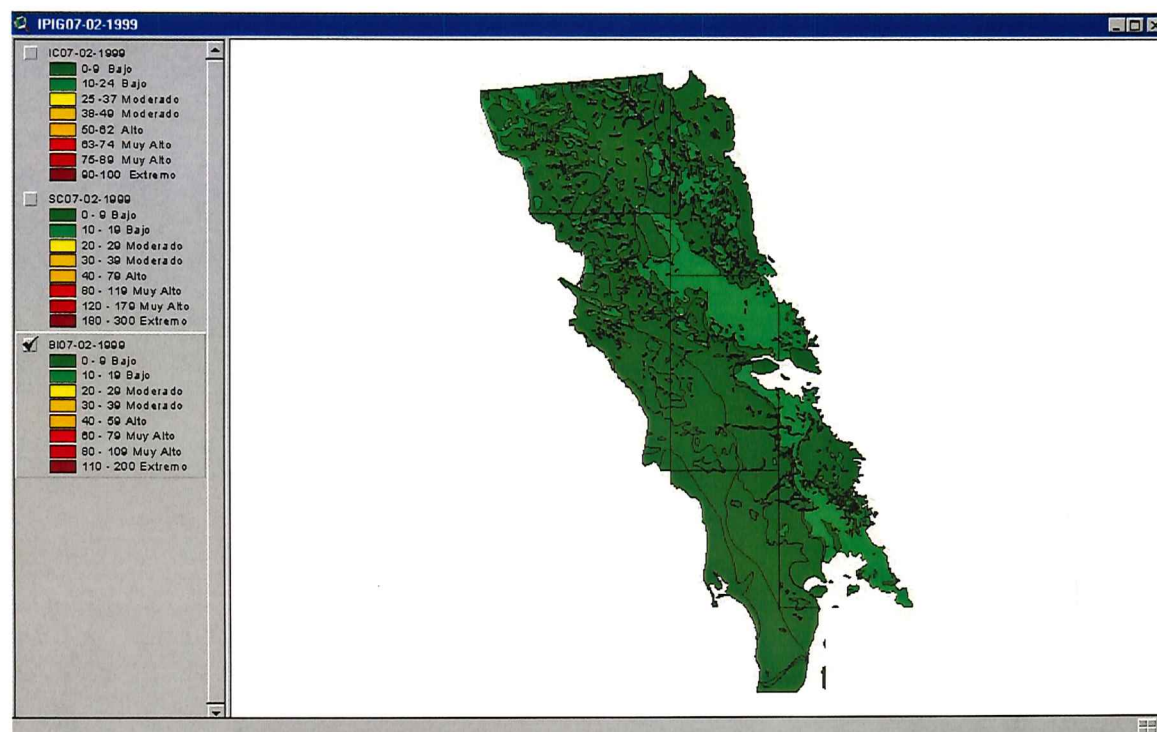


Figura 5.3. Resultados: Índice de Quema del 2 de julio de 1999 del Sistema IPIG.

La figura 5.4 muestra una ventana de diálogo, donde aparecen los índices de peligro de incendio de manera tabular. En esta tabla se pueden ver los siguientes atributos para cada polígono de la zona forestal de Baja California:

- Polígono.
- Estación.
- Modelo.
- IC.
- SC.
- ERC.
- BI.
- FLI.
- 1Hr.
- 10Hrs.

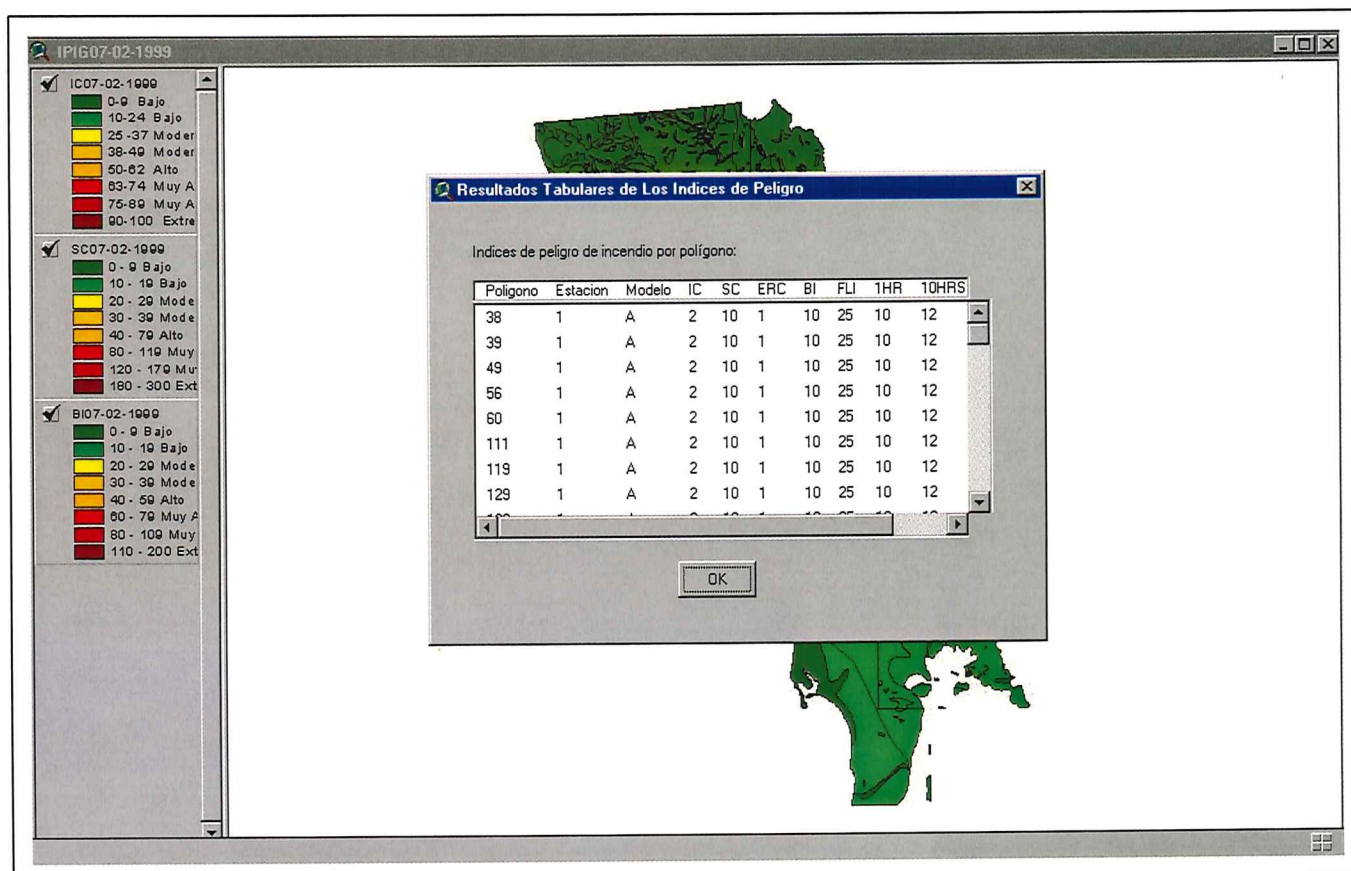


Figura 5.4. Resultados: Resultados tabulares del 2 de julio de 1999 del Sistema IPIG.

5.2.2. Caso 2. Resultados con nivel de peligro alto

Para este segundo caso las condiciones ambientales que se utilizaron contienen temperaturas altas y humedad baja, también al igual que en el primer caso la nubosidad será de cielo despejado. Estas condiciones meteorológicas corresponden al 8 de julio de 1999.

En el mapa de la figura 5.5 se muestra la clasificación del IC. En esta figura se puede ver que el componente de ignición es muy alto, casi en la totalidad del Estado, solo en muy pocos polígonos tienen clasificación moderada. Los polígonos que tienen clasificación baja, es a causa de que en esas zonas no hay modelos de combustible clasificados.

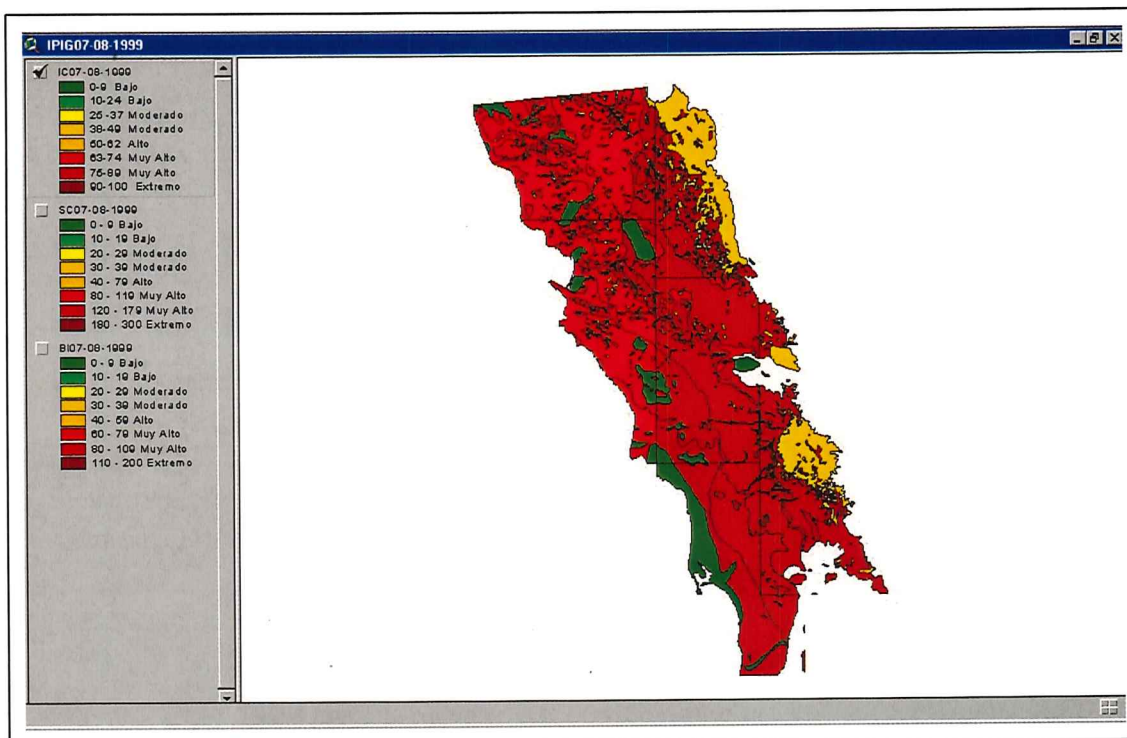


Figura 5.5. Resultados: Componente de Ignición del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.

En este ejemplo se puede ver que el componente de propagación es un poco más alto que en el Caso 1, ya que en la clasificación de polígonos, para el SC no solo se ven los colores verde oscuro o verde claro que se refieren a un SC bajo, también se pueden ver polígonos con clasificación moderada, clasificación alta y clasificación muy alta, 42, 106 y 117 respectivamente. Esta clasificación se muestra en la figura 5.6.

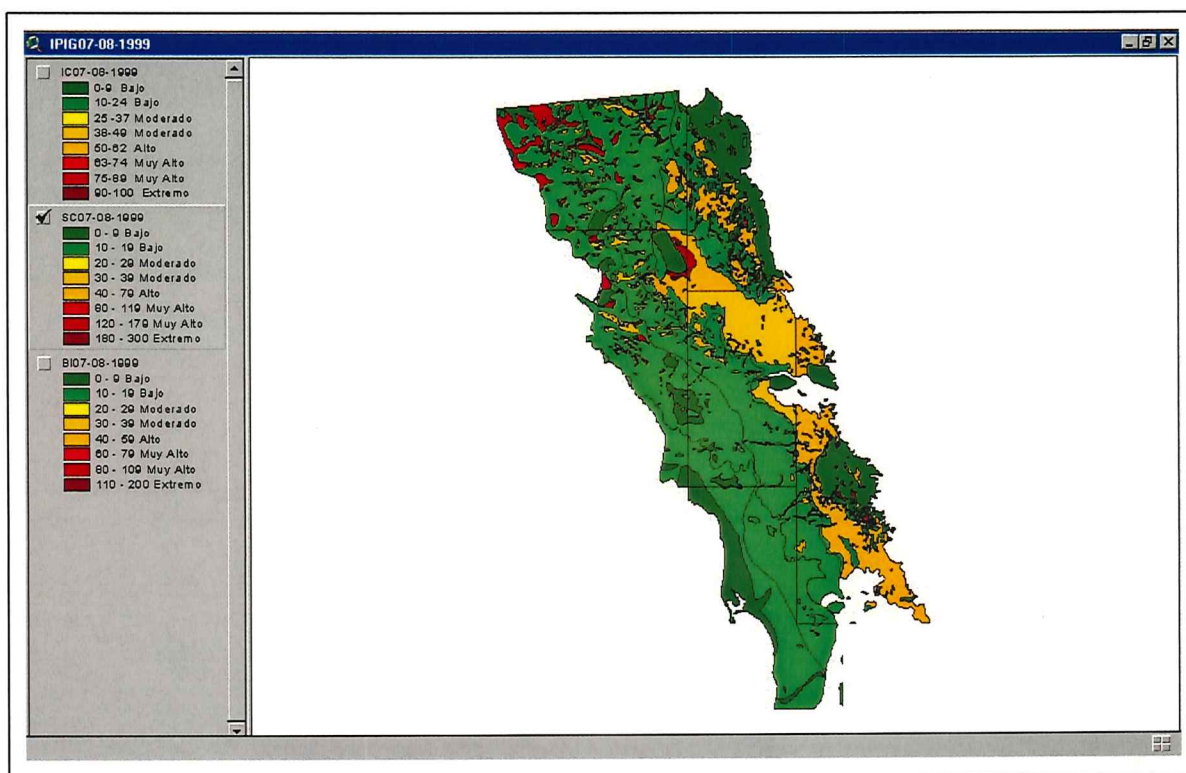


Figura 5.6. Resultados: Componente de Propagación del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.

Al igual que para el SC, la clasificación del BI para este ejemplo, ya no es solo baja, como en el ejemplo del Caso 1, ya que 265 de los 941 polígonos tienen clasificación alta. Esto se puede ver en la figura 5.7.

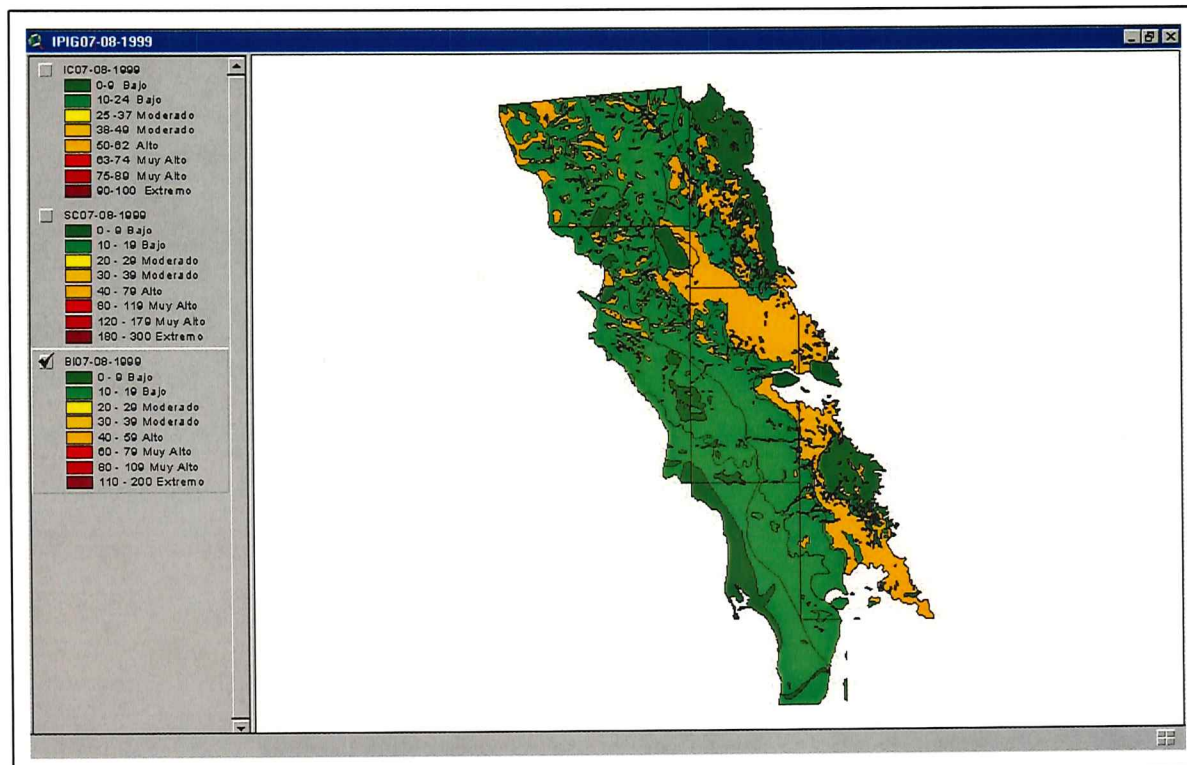


Figura 5.7. Resultados: Índice de Quema del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.

Al igual que en la figura 5.4 la figura 5.8 muestra una ventana de diálogo, donde aparecen los índices de peligro de incendio de manera tabular. Como en el ejemplo del caso uno en esta tabla se pueden ver los siguientes atributos para cada polígono de la zona forestal de Baja California:

- Polígono.
- Estación.
- Modelo.
- IC.
- SC.
- ERC.
- BI.
- FLI.
- 1Hr .
- 10Hrs.

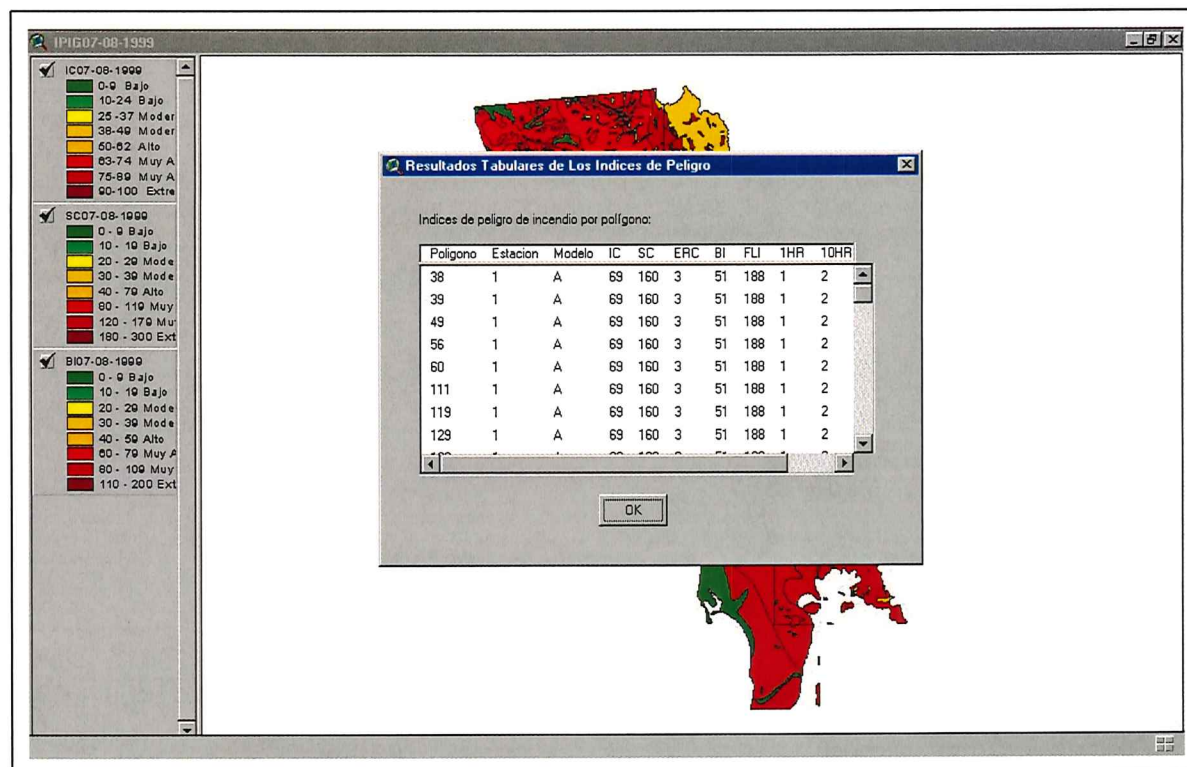


Figura 5.8. Resultados: Resultados tabulares del 8 de julio de 1999 del Sistema IPIG.

5.3. Validación de resultados del IPIG

En cuanto a la validación de los resultados que se obtienen a través del sistema IPIG, se puede decir que ésta se hizo en base a dos consideraciones:

- La experiencia en el área, de un grupo de expertos de INIFAP, dirigidos por el M.C. Jorge Sepúlveda Betancourt, ya que estos investigadores son los que tienen mayor conocimiento acerca de esta disciplina en el Noroeste del país.
- La comparación de los resultados de los IPI de la zona forestal del Estado de California USA.

La razón por la cual se validaron los resultados de esta manera, se debe a que en México no hay otro sistema similar que calcule los índices de peligro de incendio de la zona forestal de Baja California.

Por otra parte el motivo de validar los resultados en base a la segunda consideración se debe a que los índices de peligro de incendio de California son muy similares a los de Baja California, ya que ambos Estados cuentan con los mismos modelos de combustibles en zonas que tienen características meteorológicas similares.

6. CONCLUSIONES

Sin duda alguna, participar en un proyecto multidisciplinario donde interactúan áreas de conocimiento distintas, pero con un fin común, es muy enriquecedor para la formación de un profesionista, ya que un proyecto de tal magnitud exige canales de comunicación compatibles, que le permitan a los participantes establecer un lenguaje común como por ejemplo matemáticas o computación.

- Después de revisar los resultados, tanto de los objetivos planteados en la tesis como los que se obtienen del sistema IPIG, es posible afirmar que las metas fueron cumplidas satisfactoriamente, puesto que la mayoría de estos objetivos pudo ser llevado a cabo de manera exitosa, además de que los resultados que arroja el IPIG tienen un 85 % de precisión.
- El único objetivo que no fue cubierto corresponde a la implementación del MCOI, debido a la falta de información histórica de la zona forestal de Baja California. Cabe mencionar, que aunque el MCOI no está implementado por el IPIG, el módulo para determinar este índice está completamente diseñado y en forma algorítmica, listo para ser agregado al sistema, en espera de que se cuente con información suficiente.

- Una de las aportaciones más importantes que deja la elaboración de este trabajo de tesis, y que merece ser resaltada, consiste en el uso de la metodología de Rumbaugh para el desarrollo del sistema, ya que si bien, en los últimos años la mayoría de los sistemas computacionales se han venido desarrollando bajo metodologías orientadas a objetos, en el área de los Sistemas de Información Geográfica esta situación ha evolucionado muy lentamente, sobre todo en México.
- El uso de OMT para modelar el sistema IPIG resultó de gran utilidad, facilitando de modo sustancial el desarrollo de la aplicación, ya que cada modelo de combustible, cada estación virtual, cada polígono que compone al mapa base de la zona forestal, así como el mismo mapa pueden ser manipulados de manera sencilla para obtener los resultados esperados, ya que estos elementos pueden ser vistos como un simple objeto.
- Durante el desarrollo del IPIG hubo algunos inconvenientes que dificultaron el desarrollo del sistema. Pero el que tuvo verdadera relevancia consiste, en que desafortunadamente en la implementación del IPIG no se pudo hacer uso de las clases propias del sistema, construidas en las fases de análisis y diseño, ya que el Avenue no lo permite, no obstante se logró salir adelante de esta circunstancia. Para superar este incidente fue necesario implementar el sistema con una combinación de programación estructurada, procedural y orientada a objetos.

- Debido a la falta de herramientas para calcular índices de peligro de incendio en Baja California, el IPIG viene a ser una muy buena aportación en el área de los incendios forestales ya que ayuda a resolver un problema grave en el Estado, problema que no solo aqueja a Baja California, sino a todo México.
- El IPIG es el primer sistema computacional desarrollado en México, que automatiza el cálculo de índices de peligro de incendio para la prevención y control de incendios forestales, donde los resultados generados son representados de manera geográfica en un mapa de la zona forestal del Estado y clasificados por el nivel de peligrosidad.
- El IPIG queda como un buen antecedente para futuras aplicaciones que pretendan determinar índices de peligro de incendio. Este sistema puede servir como referencia para cualquier sistema con características similares, que se desee desarrollar en Baja California o en otra parte de México. Un ejemplo concreto es que este sistema será utilizado como base, para calcular los índices de peligro de incendio, en el proyecto regional **Sistema de Información Geográfica para la Prevención y Control de Incendios Forestales en el Noroeste**, que engloba a los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora, coordinado por INIFAP CECOEN.

7. APENDICE A (CONCEPTOS DEL MODELO NFDRS)

Incendio Forestal: Quema sin control de la vegetación forestal.

El **Riesgo Causado por el Hombre (R_{mc})**, Este parámetro está referido al número esperado de fuentes de incendios generados por el hombre, capaz de iniciar un incendio en un área y periodo determinado.

El cálculo de este riesgo se deriva considerando las fuentes que generan dicho riesgo, siendo estas:

- a) Incendiaros (quemadas agrícolas y ganaderas),
- b) Colillas de cigarrillos,
- c) Campamentos,
- d) Uso de equipo y
- e) Otros.

El **Componente de Propagación (SC)**, es numéricamente equivalente a la tasa de propagación pronosticada, redondeado al número entero más cercano. El algoritmo de SC es el modelo de propagación de incendios de Rothermel sin modificar [BRADSHAW, 1978], con los elementos de combustible ponderados por área de superficie.

EL **Componente de Energía Liberada (ERC)**, es el total de energía liberada de una flama por pie cuadrado en el escenario del incendio.

El primer paso para determinar la **Probabilidad de Ignición (P(I))**, es calcular el calor requerido para traer una partícula de combustible fino con un *mcl* dado de su temperatura inicial a la temperatura de ignición, que es el calor de preignición (Qig).

El calor de preignición (Qig, cal/g) es calculado por la suma de las siguientes cantidades:

- A. El calor requerido para aumentar la temperatura de combustible seco de su temperatura inicial, T_0 , a su temperatura de ignición, T_i (asumida igual a 320 °C).
- B. El calor requerido para aumentar la humedad contenida en el combustible de su temperatura inicial a su punto de ebullición.
- C. El calor de DESORPTION (Es calor que se genera en un combustible cuando se mezcla la temperatura de éste con la del ambiente).
- D. El calor requerido para vaporizar la humedad, y.
- E. El calor requerido para aumentar la temperatura de vapor de agua contenido en el combustible nulo del punto de ebullición a la temperatura de ignición.

El **SCmax** es un parámetro de modelo de combustible, calculado bajo un conjunto de severas condiciones de incendio, este difiere de los componentes de ignición del NFDRS 1972, el cual es simplemente igual a la probabilidad de ignición.

El **componente de ignición (IC)**, es la posibilidad de que se produzca un incendio, este es calculado de la probabilidad de ignición, el componente de propagación del día SC, y el componente de propagación máximo SCmax.

El **Indice de Ocurrencia de Incendio Causado por el hombre (MCOI)** es derivado del **Rmc** y del **IC**, este índice es utilizado para determinar la posibilidad de que pueda ocurrir un incendio en un área determinada.

El **Riesgo Causado por los Rayos (RL)**, se deriva del nivel de actividad de estos y se obtiene de las observaciones de la actividad de las tormentas que se presentan en una área determinada.

El **Indice de Ocurrencia de Incendio Causado por los Rayos (LOI)**, es un concepto similar al del MCOI, este es derivado del IC RL. Ambos tanto el MCOI como el LOI, pueden ser utilizados para predecir el promedio del número total de incendios esperados, que pueden ocurrir en un área de propagación.

El **Indice de Quema (BI)**, es derivado del SC, este índice es relativo a la tasa de propagación de incendio y del componente de energía liberada, así como a la cantidad de calor liberado por unidad de área en la zona de flama al inicio del incendio. El **BI** indica la dificultad de contención de un incendio, para así saber, de que manera poder atacar el siniestro (gente, equipo, etc.).

El **FLI** es una medida de la carga total de un incendio, el cual es formado por la combinación de la dificultad de contención de un incendio (BI), el número de incendios originados por el MCOI y LOI. El FLI es el índice total de peligro de incendio del modelo

NFDRS, integrando riesgo, probabilidad de ignición y comportamiento potencial de incendio.

La **Tasa de Propagación (Rs)**, es la medida de la expansión de un incendio, sensible a la velocidad del viento y las condiciones de la pendiente del área donde se produce el incendio.

Un **Modelo de Combustible** es un conjunto de partículas y capas de combustible (p.e. hojas secas en el suelo) requeridas como entrada al modelo de propagación de Rothermel, más la reducción del viento y tasa de propagación.

Un **Combustible Muerto** es todo aquel material vegetal leñoso o no leñoso que se produce como etapa final del ciclo de vida de las especies de la vegetación forestal, en los cuales la humedad contenida es controlada exclusivamente por las condiciones del ambiente: temperatura, radiación, humedad relativa y precipitación.

Un **Combustible Vivo** es el material leñoso o no leñoso con presencia de hojas o sin ellas, donde la humedad contenida es controlada por el proceso fisiológico de la planta.

Una **Quema Controlada** es el proceso de aplicación del fuego en la vegetación, que conjunta la utilización de metodologías, equipos, herramientas y materiales para conducir y regular su magnitud y alcance desde el inicio hasta su conclusión o extinción.

Una **Estación virtual** es un par de coordenadas que representan un punto que está ubicado dentro de un mapa digital, donde dicho mapa contiene información meteorológica útil para los fines del sistema. La función de la estación virtual es marcar una zona que deseemos monitorear, para obtener su información correspondiente mediante el sistema auxiliar SADAM (Sistema de Adquisición de DATos Meteorológicos) desarrollado también para el GIS-INIFAP, por CECUUE (Lic. Angelina Covarrubias Valdez, Lic. Luis Enrique Vizcarra Corral, PLCC. Alejandro Gomero Portilla) e INIFAP (M.C. Jorge Sepúlveda Betancourt)

Un **Sector** es una zona que cubre una extensión de terreno de por lo menos 1 millón de acres, misma que puede tener varios modelos de combustibles, a esta extensión de terreno también se le denomina zona protección.

Nota: Las definiciones anteriores son tomadas del modelo NFDRS-1978.

8. APENDICE B (DICCIONARIO DE DATOS)

7.1. Aplicación IPIG

Este subsistema tendrá la función de establecer una comunicación amigable con el usuario. Las clases definidas en este subsistema son abstractas, ya que son solo ayuda para el diseño, esto es, que durante la implementación del sistema se hará uso de las clases de interface que provea el lenguaje utilizado.

Todas las clases definidas en este subsistema tienen el prefijo "i", el cual nos sirve en el diseño para identificar que es una clase que pertenece a la interface.

7.1.1. iVentana

Esta es una superclase que generaliza las características y métodos de todas las ventanas utilizadas por el sistema.

7.1.1.1. Métodos Públicos:

Crea () : Con esta operación se crea un objeto de interface.

Destruye () : Con este método se destruye un objeto de interface.

7.1.2. iDatos_Tabulares

Esta clase representa la ventana donde se despliega la información tabular del sistema, la cual contiene los índices de peligro de incendio e información adicional.

Derivada de iVentana.

7.1.3. iPrincipal

Esta clase representa la ventana principal del sistema, donde se encuentran las opciones que este provee, cálculo y despliegue de índices de peligro de incendio.

Derivada de iVentana.

7.1.4. iMapa

Esta clase representa la ventana donde se despliega el mapa, con los resultados de los índices de peligro de incendio representados geográficamente.

Derivada de iVentana.

7.2. Calculo de IPI

Este subsistema contiene las clases y métodos utilizados para obtener los índices de peligro y carga de incendio, a partir de la información de entrada, para cada polígono de la zona forestal de Baja California.

7.2.1 Poligono

Clase generalizadora de los índices de peligro de incendio, la cual contiene un método para leer datos de entrada y otro para grabar los resultados, para cada uno de los polígonos en que esta dividida la zona forestal de Baja California.

7.2.1.1. Atributos Protegidos

Fecha : Fecha. Graba la fecha en que son calculados los índices de peligro de incendio.

NoPoligono : entero. Es el número de polígono.

ModComb : caracter. Contiene el tipo de modelo de combustible que hay en esta

Estacion : entero. Contiene el número de estación virtual.

Sector : entero. Es el sector en donde se encuentra ubicado el polígono.

Subsector : entero. Es el subsector en donde se encuentra ubicado el polígono.

7.2.1.2. Métodos Públicos

Leer_Datos () : Este método captura los parámetros de entrada para el modelo, los cuales son introducidos por el usuario.

Grabar () : Con este método se graban en la base de datos los resultados de IPI obtenidos para cada polígono de la zona de estudio.

7.2.2. BI

Esta clase contiene los métodos para obtener los índices de carga de incendio para cada estación virtual dentro de la zona de estudio.

Derivada de Poligono

7.2.2.1. Atributos Protegidos

ERC : real. Nos indica la cantidad de energía liberada por un incendio. El cual se utiliza para calcular la longitud de flama.

BI : Este atributo corresponde al índice de quema.

FLI : Este atributo corresponde al índice de carga de incendio.

7.2.2.2. Atributos Privados

J1 : real. Esta es una constante j1, el cual indica un factor de escala del BI, el valor de la constante es 10/pie. Esta es utilizada para calcular el BI.

FL : real. Es el valor de longitud de flama de un incendio para calcular el índice de quema (BI) de un área determinada.

TasaProp : real. Es la cantidad de terreno que cubre un incendio al propagarse (pie/min). Se utiliza para el cálculo de la longitud de flama (FL).

J : real. Es el coeficiente constante j de la reacción de intensidad del incendio, utilizado para obtener la longitud de flama.

K : real. Es el factor de escala constante k del ERC.

TaoR : real. Es un factor que indica el tiempo de duración de flama, utilizado para calcular el ERC y FL.

IRe : real. Es la intensidad de reacción ponderada utilizada para la obtención del ERC.

7.2.2.3. Métodos Públicos

Indice_Quema () : Es el método principal de la clase, el cual se encarga de leer información de la base de datos, además de llamar a los demás métodos de esta clase.

Calcular_BI () : Con este método se calcula el Índice de Quema (BI), de un área determinada, lo cual es el objetivo principal de la clase.

Calcular_FL () : Este método calcula la longitud de flama (FL), la cual es utilizada para el cálculo del BI.

Calcular_ERC () : Con este método obtenemos el componente de energía liberada (ERC), utilizado para el cálculo de longitud flama.

Calcular_FLI () : Este método es utilizado para calcular el índice de carga de incendio.

7.2.3. Mod _Comb

En esta clase estarán las características para cada modelo de combustible utilizado en el sistema.

7.2.3.1. Atributos Protegidos

Tipo : character. El tipo es la clasificación del modelo de combustible, donde cada modelo esta clasificado con un símbolo alfabético (A, B, C, ...).

St : real. Es el contenido de mineral total en las partículas de combustible, de un modelo.

Se : real. Es el contenido de mineral efectivo de las partículas de combustible de un modelo.

H : real. Corresponde al calor contenido por partícula de combustible.

SCmax : real. Es el máximo componente de propagación que puede tener un modelo.

delta : real. Capa de combustible.

Mx : real. Contenido de humedad muerta.

sigma : real. Volumen y superficie de la partícula de combustible.

Rhop : real. Densidad de la partícula seca.

Wo : real. Carga de combustible.

IRe : real. Factor para el cálculo de la intensidad de reacción ponderada.

Pendiente : real. Angulo de elevación del terreno donde se encuentra ubicado un combustible.

Factor_V : real. Factor del viento para el cálculo de los índices de peligro de incendio.

7.2.3.3. Métodos Públicos

Leer_Datos () : Este método obtiene información de la base de datos que será asignada a los atributos de la clase.

7.2.4. SC_IC

Con esta clase podremos obtener el componente de propagación de incendio utilizado para generar los índices de peligro de incendio y los índices de ocurrencia de incendio causados por el hombre.

Derivada de Poligono

7.2.4.1. Atributos Protegidos

SC : real. Componente de propagación (SC) del incendio, para el calculo de los índices.

IC : real. En esta variable se guarda el componente de ignición (IC) de un incendio utilizado para el cálculo de los índices.

Pig : real. Probabilidad de ignición. La cual es utilizada para obtener el IC.

7.2.4.2. Atributos Privados

pendiente : real. Angulo o pendiente de elevación del terreno, para cada estación virtual.

PIprima : real. Probabilidad de ignición prima, utilizada en el cálculo de la probabilidad de ignición.

Qig : real. Calor de preignición, mismo que es utilizado en el cálculo de la probabilidad de ignición.

X : real. Es una variable auxiliar para obtener un resultado parcial, en el cual está involucrado el calor de preignición (Qig).

To : real. Temperatura ambiental, a las 2:00 p.m., la cual es utilizada para obtener el Qig.

7.2.4.3. Métodos Públicos

Calcular_SC_IC () : Con esta operación obtenemos el componente de propagación de los índices de peligro de incendio.

Calcular_SC () : Este es el método principal de la clase, ya que este se encarga de leer información necesaria de la base de datos, además de llamar a los métodos específicos para cada operación.

Calcular_IC () : Con este método generamos el componente de ignición utilizado para el cálculo de índices.

Calcular_Pi () : Este método se utiliza para obtener la probabilidad de ignición, utilizada posteriormente para calcular los índices de peligro de incendio.

7.2.5. MCOI

Esta clase será utilizada para generar el índice de ocurrencia de incendio generado por el hombre, información necesaria para determinar el índice de carga de incendio.

Derivada de Poligono.

7.2.5.1. Atributos Protegidos

MCOI : real. Este atributo es un arreglo de la cantidad de incendios por año en la zona de estudio.

7.2.5.2. Atributos Privados

Incendios : arreglo de enteros. Este se utiliza para asignar los incendios ocurridos por año en la zona de estudio, esta información se lee de la base de datos y se emplea durante el cálculo del MCOI.

SumIncendios : entero. Este atributo es utilizado para acumular el resultado del cálculo de la sumatoria de incendios por año.

ICAnteriores : arreglo de reales. Es un arreglo de los componentes de ignición por año, de los años anteriores.

ICMedia : arreglo de reales. En este atributo se asigna el resultado del cálculo de la media de los IC anteriores.

Area : real. Corresponde al área de protección en la zona de estudio.

AreaDias : real. Es el producto del área de protección, en millones de acres y el total de número de incendios en cinco temporadas.

Dias : arreglo de enteros. Es la cantidad de días en los que se registró un incendio en la zona de protección.

SumaDias : entero. Es la sumatoria de los días en los que se registraron incendios.

Rch : real. En esta variable se asigna el riesgo causado por el hombre, lo cual es el objetivo de esta clase.

7.2.5.3. Métodos Públicos

Calcular_RCH () : Calcula el riesgo causado por el hombre (RCH) en un área determinada.

Calcular_MCOI () : Calcula el índice de ocurrencia de incendio causado por el hombre (MCOI, por sus siglas en inglés).

7.2.6. Fuel_Moisture

Con esta clase se calcula el contenido de humedad de un combustible en la zona. Estos pueden ser de tres tipos 1 hr, 10 hrs y 100 hrs. lo cual se refiere a la cantidad de humedad que tiene el combustible, así pues 1 hr es menor cantidad de humedad que 10 hrs, y 10 hrs menor que 100 hrs respectivamente.

Derivada de Poligono

7.2.6.1. Atributos Protegidos

Una_Hr : Real. Utilizado para guardar el resultado de la cantidad de humedad de 1 hr.

Diez_Hrs : Real. En este atributo se guarda el resultado del cálculo de la cantidad de humedad de combustible de 10 hrs.

Cien_Hrs : Real. En este atributo se guarda el resultado del cálculo de las 100 hrs de contenido de humedad de combustible.

7.2.6.2. Atributos Privados

MCieno : Real. Este atributo contiene un parámetro de porcentaje de humedad del combustible, utilizado para el cálculo de Cien_Hrs.

EMC : Real. Guarda el balance de humedad contenida (EMC, por siglas en inglés), el cual es utilizado para calcular el contenido de humedad de combustible.

EMC_Max : Real. Balance de humedad contenida máxima, se utiliza para el cálculo del EMC.

EMC_Min : Real. Balance de humedad contenida mínima, es utilizado para el cálculo de del EMC.

n : Entero. Este atributo corresponde la número de horas que dura el día, es decir, el tiempo que transcurre desde el amanecer hasta el ocaso. Es utilizado para el cálculo del EMC.

Pd : Entero. Es el período de tiempo que puede durar la precipitación, utilizado para el cálculo de EMC.

Pa : Entero. Es la precipitación acumulada en 24 hrs. Utilizada en el cálculo de Pd.

D : Real. Es la condición de frontera del contenido de humedad del combustible, utilizado para calcular el Cien_hrs.

7.2.6.3. Métodos Públicos

Aplicar_Nubosidad () : Con este método se hace la operación de aplicar el factor de nubosidad, el cual influye de manera directa en el resultado de calcular los índices de peligro de incendio.

.Calcular_EMC () : Este método es utilizado solo para el cálculo del valor del EMC, el cual es utilizado para obtener el contenido de humedad de 1 hr, 10 hrs y 100 hrs.

Calcular_1hr () : Obtiene el contenido de humedad de 1 hr, este lo tienen los combustibles que pueden prender más fácilmente, pero que a su vez no tienen mucha carga de energía.

Calcular_10hrs () : Con este método se calcula el contenido de humedad de 10 hrs, el cual se encuentra en los combustibles con masa mediana.

Calcular_100hrs () : Con este método se calcula el contenido de humedad de 100 hrs; este se encuentra en los combustibles que generan mucha carga de energía, pero que no se incendian fácilmente, tales como los pinos, etc.

Calcular_MF () : Este método se utiliza para calcular la humedad del combustible (MF), atributo que es utilizado posteriormente para obtener el contenido de humedad de 1 hr, 10 hrs y 100 hrs.

7.2.7. Clima

Esta clase contiene los atributos meteorológicos de cada estación virtual, que serán utilizados para calcular los índices de peligro de incendio.

7.2.7.1. Atributos Protegidos

Estacion : Entero. Contiene el número de estación virtual.

TempMin : Real. Contiene la temperatura mínima de la estación virtual.

TempMax : Real. Se le asigna la temperatura máxima de la estación virtual.

TempMed : Real. Se le asigna la temperatura máxima de la estación virtual.

HrelMedMax : Real. Contiene la humedad relativa media de la estación virtual.

VelViento : Real. Velocidad del viento correspondiente a la estación virtual.

HCV : Real. Humedad de los combustibles vivos que corresponde a la estación virtual.

Dewpoint : Real. Contiene el Dewpoint de la estación virtual.

Lluvia : Real. Contiene la cantidad de precipitación de agua de la estación virtual.

Fecha : Fecha. Corresponde a la fecha de la información meteorológica.

7.2.7.2. Métodos Públicos

Leer_Datos() : Lee de la base de datos la información meteorológica correspondiente a cada estación virtual.

7.3. Despliegue de IPI

El subsistema **Despliegue de IPI** tiene la finalidad de presentar los resultados obtenidos a través de los métodos contenidos en la clase `Despliegue_Ipi`.

7.3.1. Despliegue_Ipi

Esta clase contiene los métodos para desplegar los IPI tabulares y geográficos, correspondientes a cada estación virtual.

7.3.1.1. Atributos Privados

NoPoligono : Entero. Contiene número de polígono correspondiente.

Estacion : Entero. Contiene el número de estación virtual.

Modelo: Caracter. Modelo de combustible del polígono.

IC : Real. Resultado de IC del polígono.

SC : Real. Resultado de SC del polígono.

BI : Real. Resultado de BI del polígono.

FLI : Real. Resultado de FLI del polígono.

1Hr : Real. Resultado de 1hr del polígono.

10Hrs : Real. Resultado de 10 hrs del polígono.

100Hrs : Real. Resultado de 100 hrs del polígono.

7.3.1.2 Métodos Públicos

Leer_Datos () : Lee los resultados obtenidos para cada estación virtual.

Desplegar_IPI () : Es el método principal de la clase, se utiliza cuando el usuario desea ver, tanto los resultados geográficos como tabulares.

Desplegar_Indices_Geograficos () : Este método es utilizado solo para presentar al usuario los resultados geográficos. Lee de la base de datos la información para ser clasificada y posteriormente presentada.

Desplegar_Indices_Tabulares () : Este método es utilizado solo para presentar al usuario los resultados tabulares. Lee de la base de datos la información para ser formateada y presentada de manera tabular .

Indices_Geograficos () : Despliega el mapa con los índices de peligro de incendio.

Indices_Tabulares () : Despliega datos tabulares de los índices de peligro de incendio.

Clasificar_Resultados () : Clasifica los índices de peligro de incendio por su nivel de peligrosidad, para ser presentados de manera geográfica.

7.4. Base de datos

Este subsistema será el que almacenará la información necesaria para que el sistema realice sus funciones.

Todas las clases definidas en este subsistema tienen el prefijo "t", el cual nos sirve en el diseño para identificar que es una clase que esta relacionada con una tabla que pertenece a la base de datos.

7.4.1. tB_Datos

Esta es una superclase que generaliza los métodos que pueden ser heredados a todas las demás clases del subsistema de base de datos.

7.4.1.1. Métodos Públicos:

Leer () : Con este método podemos consultar información de la base de datos.

7.4.2. tIPI

El objetivo de esta clase, es grabar y leer los resultados obtenidos en el cálculo de los índices de peligro de incendio.

Derivada de tB_Datos.

7.4.2.1. Métodos Públicos:

Grabar () : Con este método podemos grabar la información en la base de datos, donde la información que se graba corresponde a los índices.

7.4.3. tMod_comb

A través de esta clase, se leen de la base de datos, los atributos de un modelo de combustible en particular.

Derivada de tB_Datos.

7.4.4. tPoligono

Con esta clase, recuperamos de la base de datos, la información relacionada a los polígonos.

Derivada de tB_Datos.

7.4.5. tDatos_Clima

Con esta clase, se obtienen de la base de datos, los parámetros climatológicos utilizados para el cálculo de los índices de peligro de incendio.

Derivada de tB_Datos.

7.4.6. tPeligrosidad_BI

Esta clase, extrae de la base de datos información relacionada a los resultados obtenidos, es decir, información descriptiva del nivel de peligrosidad del índice de quema.

Derivada de tB_Datos.

7.4.7. tDatos_Hist

La clase tDatos_Hist, es utilizada para leer de la base de datos, información relacionada con los incendios causados por el hombre en años anteriores, datos que son utilizados para el cálculo del riesgo causado por el hombre.

Derivada de tB_Datos.

9. BIBLIOGRAFIA

- [ESRI, 1994]. Environmental Systems Research Institute. Understanding GIS. ESRI. Redlands, CA., 1994.
- [MAGUIRE, 1991]. Geographical Information Systems. Principles and Applications. Maguire, David J., et al. Harlow, Essex, England : Logman Scientific & Technical: John Wiley : 1991.
- [BRADSHAW, 1978]. Bradshaw, Larry S. [et al]. The 1978 National Fire-Danger Rating System: Technical Documentation. United States department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden. General Technical Report INT-169. July 1983.
- [BURGAN, 1988]. Burgan, Robert E. The 1988 Revision of The 1978 National Fire-Danger Rating System: Technical Documentation. United States department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden.
- [ROSE, 1996]. A Rational Approach to Software Development Using Rose 4.0. Rational Software Corporation. Santa Clara CA. November 1996.
- [RUMBAUGH, 1991]. Rumbaugh, James [et. al]. Object-Oriented Modeling and Design. Prentice-Hall. New Jersey, 1991.
- [RUMBAUGH-DM, 1995]. Rumbaugh, James. OMT the Dynamic Model. Journal Object Oriented Programming. Febrero 1995.
- [RUMBAUGH-DP, 1995]. Rumbaugh, James. OMT the Development Process. Journal Object Oriented Programming. May 1995.
- [RUMBAUGH-FM, 1995]. Rumbaugh, James. OMT the Functional Model. Journal Object Oriented Programming. Marzo-Abril 1995.
- [RUMBAUGH-OM, 1995]. Rumbaugh, James. OMT the Object Model. Journal Object Oriented Programming. Enero 1995.
- [SEMARNAP, 1998]. Estadísticas de incendios en Baja California. Archivo técnico de 1997.
- [AVENUE, 1996]. Avenue. Customization and Application Development for ArcView. ESRI. Redlands, CA., 1996.